



MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

TREBALL FINAL DE MÀSTER

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA TRANSMITANCIA ESPECTRAL PARA LENTES FILTRANTES DE BAJA VISIÓN

JOSEP MIQUEL GÓMEZ MOLINER

DIRECTOR/A Eulalia Sánchez Herrero
DIRECTOR/A Elisabet Pérez Cabré
DEPARTAMENT D'ÒPTICA I OPTOMETRIA

DATA DE LECTURA 25 /10/2017



MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

Les Sres. Eulàlia Sánchez Herrero i Elisabet Pérez Cabré, com a directores del treball,

CERTIFIQUEN

Que el Sr. Josep Miquel Gómez Moliner ha realitzat sota la seva supervisió el treball “Anàlisi comparatiu de la transmitància espectral per a lents filtrants de baixa visió” que es recull en aquesta memòria per optar al títol de màster en Optometria i Ciències de la Visió.

I per a què consti, signem aquest certificat.

Sra Eulàlia Sánchez Herrero

Sra Elisabet Pérez Cabré

Directora del TFM

Directora del TFM

Terrassa, 11 d' Octubre de 2017



MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

ANÀLISI COMPARATIU DE LA TRANSMITÀNCIA ESPECTRAL PER A LENTS FILTRANTS DE BAIXA VISIÓ

RESUM

En la pràctica diària dels optometristes especialitzats en baixa visió, és habitual l'ús de lents filtrants, més conegudes com filtres terapèutics.

A Espanya, trobem diverses opcions comercials per poder adquirir aquest tipus d'ajudes visuals. A més, l'oferta pot provenir tan de fabricants especialitzats en productes de baixa visió com de fabricants de lents oftàlmiques d'ús generalitzat.

Adjunt amb els filtres terapèutics, els fabricants poden facilitar diverses informacions com la corba de transmitància, la longitud d'ona de tall o consells sobre quin és el millor filtre terapèutic per a la patologia ocular a tractar.

Un dels handicaps més importants respecte tota aquesta informació es que està proporcionada per el fabricant sense que posi en coneixement el sistema de mesura o els criteris utilitzats. A més, existeix molt poca bibliografia científica que avalu els procediments emprats.

Aquest treball s'ha centrat principalment en la mesura de la transmitància espectral i la longitud d'ona de tall de diversos filtres terapèutics comercials, facilitats pels mateixos fabricants. S'han volgut mesurar aquestes característiques seguint el mateix protocol per tots els filtres, per tal de poder obtenir mesures comparables entre les diverses cases comercials. Amb l'objectiu de proposar un sistema de mesura estandarditzat, a través del qual s'han pogut analitzar 89 mostres de 10 fabricants diferents.

D'aquesta manera s'han pogut establir semblances i/o diferències de les mostres obtingudes respecte a la transmitància, així com valorar breument quins factors poden intervenir-hi.

Finalment, s'han fet mesures de transmitància espectral amb filtres comercials de l'àmbit de la luminotècnia molt més econòmics, per valorar la possibilitat de què aquests puguin substituir els filtres terapèutics en casos de persones amb pocs recursos econòmics.



MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA TRANSMITANCIA ESPECTRAL PARA LENTES FILTRANTES DE BAJA VISIÓN

RESUMEN

En la práctica diaria de los optometristas especializados en baja visión es habitual el uso de lentes filtrantes, o más comúnmente dichos filtros terapéuticos.

En España, nos encontramos con diversas opciones comerciales a la hora de adquirir éste tipo de ayudas visuales. Además están ofertadas tanto por fabricantes especializados en productos de baja visión como por fabricantes de lentes oftálmicas para uso generalizado.

Adjunto a los filtros terapéuticos, los fabricantes pueden facilitar diversa informaciones como la curva de transmitancia, la longitud de onda de corte o consejos sobre cual es el mejor filtro para la patología ocular a tratar.

Uno de los hándicaps más importantes que tiene toda ésta información es que está ofrecida por el fabricante sin poner en conocimiento el sistema de medida utilizado o los criterios establecidos. Además, existe muy poca bibliografía científica que avale los procedimientos utilizados

Este trabajo se ha centrado principalmente en la medida de la transmitancia espectral i la longitud de onda de corte de diversos filtros terapéuticos comerciales facilitados por los mismos fabricantes. Se ha querido medir estas características siguiendo el mismo protocolo para todos los filtros, para así obtener medidas comparables entre las diversas casas comerciales. Con el objetivo de proponer un sistema de medida estandarizado, a través del cual se han podido analizar 89 muestras de 10 fabricantes distintos. De ésta manera, normalizando las medidas, se han podido establecer las similitudes y/o diferencias en cuanto a transmitancia se refiere, así como valorar brevemente que factores pueden intervenir en ella.

Finalmente, se han hecho medidas de la transmitancia espectral de filtros comerciales en el ámbito de la luminotecnia, mucho más económicos, para valorar las posibilidad de que éstos puedan sustituir los filtros terapéuticos en casos con personas con bajos recursos económicos.



MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

COMPARATIVE ANALYSIS OF SPECTRAL TRANSMITTANCE FOR LOW VISION FILTERING LENSES

ABSTRACT

On low vision specialized optometrists' daily practice, it is usual the use of filtering lenses; commonly known as therapeutic filters.

Various options to purchase these types of visual aids are available in the Spanish market. The offer may be provided by both specialized manufactures on low vision products as well as producers of general use ophthalmic lenses. Attached to the therapeutic filters different information may be provided by the manufacturers, such a spectral transmittance curve, cutoff wavelength or which is the best therapeutic filter option in relation to the ocular pathology we are dealing with.

One of the major drawbacks from obtained information is that it is provided by the manufacturer without stating neither the measuring system nor the criteria used during the process. Besides, there is not much scientific bibliography which supports the used procedures.

The following project is mainly focused on the measurement of spectral transmittance as well as cutoff wavelength from various commercial therapeutic filters provided by manufacturers. Measurement of these characteristics following the same criteria for all filters has been performed in order to obtain comparable measures among various manufacturers. Its main aim being the proposal of standardized measuring system, through which 89 samples from 10 different manufacturers have been analysed.

As a result, similarities and differences have been observed from the obtained samples in relation to the transmittance as well as performing a brief evaluation on the factors involved in the process.

Finally, measurements on spectral transmittance using economical commercial filters from lighting technology have been performed in order to consider whether these particular filters can replace therapeutic filters for people with financial needs.

Agradecimientos

El camino hasta poder llegar hasta aquí ha sido largo y en ocasiones complicado. Pero si en mi andadura hubiese estado sólo, con toda seguridad no hubiese podido terminar.

Es por ello por lo que quiero hacer un agradecimiento especial a las directoras de éste trabajo final de máster, Lali y Elisabet, que sin su dedicación éste trabajo no hubiese sido posible. A Grau y Adrianna, que me han animado y que han entendido mis ausencias en los últimos meses. También a mis padres, mi hermana y toda la familia que me ha apoyado en todo momento. A mis amigos, que me han animado cuando ha sido necesario. Y por último, a toda la gente que directa o indirectamente ha hecho su aportación en ésta investigación.

A todos ellos, muchas gracias!

En la vida hay algo peor que el fracaso: el no haber intentado nada

Franklin D. Roosevelt

Índice

1. Introducción	1
2. Filtros ópticos	3
2.1 Filtros ópticos cromáticos	3
2.2 Filtros cromáticos y discapacidad visual	8
3. Motivación del trabajo	12
4. Objetivos	13
5. Método de medida	13
5.1 Muestras	13
5.1.1 Criterios de inclusión y exclusión	13
5.1.2 Obtención de las muestras	13
5.2 Material	14
5.2.1 Espectroradiómetro	14
5.2.2 Iluminante	16
5.2.3 Soporte muestras	18
5.3 Diseño del sistema de medida	18
6. Resultados	21
7. Análisis	26
7.1 Reproducibilidad de un filtro terapéutico	26
7.1.1 Repetitividad de las medidas: análisis del espectro de emisión del iluminante para dos medidas	26
7.1.2 Repetitividad de las muestras: análisis de filtros con igual referencia de dos muestras distintas	27
7.1.3 Reproducción de un filtro comercial: análisis de un filtro coloreado en una óptica independiente	29
7.1.4 Influencia de la potencia: análisis de filtros con igual referencia y distinta potencia de graduación	31
7.1.5 Influencia del índice de refracción: Análisis de filtros con igual referencia y distinto material	32
7.2 Análisis de los filtros terapéuticos de igual longitud de onda de corte	33
7.2.1 Análisis de los filtros de longitud de onda de corte 400 nm	34
7.2.2 Análisis de los filtros de longitud de onda de corte 450 nm	35
7.2.3 Análisis de los filtros de longitud de onda de corte 500 nm	36
7.2.4 Análisis de los filtros de longitud de onda de corte 511 nm	37
7.2.5 Análisis de los filtros de longitud de onda de corte 527 nm	38
7.2.6 Análisis de los filtros de longitud de onda de corte 550 nm	39
7.2.7 Análisis de los filtros de longitud de onda de corte 560 nm	40
7.2.8 Análisis de los filtros de longitud de onda de corte 585 nm	41
7.2.9 Análisis de los filtros C1	42
7.3 Comparativa entre resultados e información de los fabricantes de filtros cromáticos terapéuticos	44

7.4 Análisis de filtros cromáticos adaptables cómo filtro terapéutico económico	46
8. Discusión	49
9. Conclusiones	52
10. Futuras investigaciones	53
11. Bibliografía	54
Anexo 1	57
Anexo 2	58
Anexo 3	59
Anexo 3.1 AVS baja visión	59
Anexo 3.2 Corning	66
Anexo 3.3 Echenbach	73
Anexo 3.4 Essilor	77
Anexo 3.5 INDO	81
Anexo 3.6 Naturlens	83
Anexo 3.7 Prats	87
Anexo 3.8 Recoletos	92
Anexo 3.9 Zeiss	98
Anexo 3.10 LEE	101

1. Introducción

En los últimos años, se ha hecho más común utilizar palabras como, luz azul, “toxicidad”, daños en la retina o degeneración macular. Además, la industria publicitaria nos indica soluciones para poder evitar daños en estas estructuras y también soluciones para no sobreexponer el ojo a la radiación de la luz azul con el uso de filtros ópticos de absorción.

También es cierto que la utilización de este tipo de dispositivos en optometría, aunque poco conocido, no es nada novedoso. Ni por el efecto filtrante de radiaciones no deseadas ni por el efecto terapéutico que pueden producir sobre las diferentes estructuras del ojo.

Es en el campo de la discapacidad visual donde el uso de filtros de absorción selectiva está ampliamente generalizado desde hace muchos años por parte de los optometristas. Este uso, es tan importante, que ha provocado que no sólo los proveedores especializados en baja visión tengan en su carpeta este tipo de ayudas, sino que fabricantes de lentes oftálmicas de uso generalizado los incluyan en las suyas. Con esta situación, es fácil pensar que la cantidad de opciones que ofrece el mercado en este sentido son muy amplias. Ahora bien, también es cierto que la información que se ofrece de estos filtros proviene de los propios fabricantes. A priori, este hecho no debería ser un problema si existiese un protocolo de medida estandarizado. De esta manera se podría comparar y establecer similitudes y diferencias de una manera fácil y fiable. Por otro lado, existe poca bibliografía científica respecto a la definición y el sistema de medida de los filtros terapéuticos utilizados en baja visión.

Otro aspecto que se percibe en la prescripción de los filtros terapéuticos, tanto por parte de los optometristas como por parte de los usuarios, es la sensación que las muestras utilizadas en clínica no son exactamente iguales que las que se reciben una vez el filtro está personalizadas al usuario. Otra problemática conocida es la sustitución de una sola lente. Esto puede acarrear diferencias cromáticas entre la lente sustituida y la lente que no lo ha estado. Un último aspecto que también hay que tener en cuenta, es el alto coste económico que tienen los filtros terapéuticos y que evita que se pueda llegar a la mayor población posible.

Todos estos aspectos han generado y han marcado directamente los diversos objetivos que se han planteado para esta investigación.

Así, se establecen como principal objetivo y dónde se quiere profundizar más es en la curva de la transmitancia espectral. Valorando las diferencias y similitudes entre las diversas muestras que se obtengan a través de los fabricantes. Realizando un análisis de la influencia del tipo de material de fabricación de las lentes, así como de la potencia de graduación. Y finalmente, se buscando una opción económica de filtro terapéutico fuera del campo de la optometría para personas con bajos recursos económicos.

Para poder llevar a cabo todos los objetivos anteriormente planteados y, además, hacerlo de manera ordenada y lógica, esta memoria se puede clasificar en dos bloques, una parte teórica y una parte práctica.

En la parte práctica encontraremos la definición de filtro de absorción selectiva, la relación que se establece entre éstos y la energía con la que interacciona y por último la relación entre filtro óptico y de discapacidad visual.

En la parte práctica, podremos descubrir el protocolo de medida utilizado en la medida de la curva de transmitancia espectral de las diversas muestras. Analizando los resultados, podremos describir las diferencias y las similitudes que se encuentran en las diversas muestras de los fabricantes que participan en el trabajo, el efecto de modificar el material de fabricación de las lentes y la potencia de graduación y el resultado que se ha obtenido en el afán por encontrar una alternativa económica que pueda ser sustituto de los filtros convencionales para la gente con bajos recursos económicos.

Finalmente, todo el análisis nos permitirá redactar las conclusiones para poder responder a los objetivos marcados y proponer futuras investigaciones para poder profundizar y conocer con más detalle los filtros terapéuticos utilizados en la discapacidad visual.

2. Filtros ópticos

2.1 Filtros ópticos cromáticos

Del libro Materiales Ópticos Inorgánicos del autor Antonio Navarro (1), se obtiene la siguiente definición de filtro óptico:

“Se denominan filtros ópticos a aquellos vidrios para aplicaciones ópticas que por estar coloreados en su masa o por haber sido tratados en superficie, transmiten las radiaciones de ciertas zonas del espectro en mayor proporción que otras. También pueden definirse a los filtros como, dispositivos diseñados especialmente para realizar un proceso de separación selectiva. El grado de homogeneidad no es tan estricto como del vidrio óptico para instrumental, pero no obstante debe ser elevado, puede admitirse la presencia de estrías y burbujas pequeñas, y la tolerancia en birrefringencia puede ser mayor. La propiedad más importante, es el espectro de transmisión. Su aplicación va desde instrumental científico, espectrofotómetros, fotocolorímetros, a equipos para fotografía, anteojería, cinematografía y televisión”.

De esta definición se detallan diversos aspectos que van a ser importantes en esta investigación.

El primer aspecto importante a tener en cuenta es el tipo de energía con la cual van a interactuar los filtros. En este caso se trata de radiación electromagnética. La radiación electromagnética se propaga en forma de ondas transversales (sus campos eléctricos y magnéticos son perpendiculares entre si y a su vez perpendiculares a la dirección de propagación) (2).

Los diferentes tipos de ondas electromagnéticas se caracterizan por la longitud de onda (λ) y la frecuencia (f). La longitud de onda se puede definir como la distancia para la cual se repite un valor del campo eléctrico de la onda; las unidades más comúnmente utilizadas son los nanómetros ($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$). La frecuencia es el número de vibraciones que se producen en un segundo; las unidades utilizadas son Hertz (s^{-1}) (3) (4).

En la figura 1 podemos ver la representación gráfica de la propagación de una onda electromagnética, así como de la longitud de onda λ de la misma.

NATURE ET PROPAGATION D'UNE ONDE ÉLECTROMAGNÉTIQUE

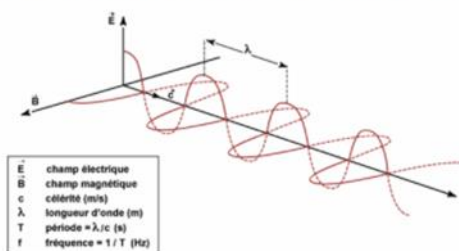


Figura 1. Representación gráfica de la propagación de una onda electromagnética. (5)

El conjunto de todas las ondas electromagnéticas se llama espectro electromagnético, y está constituido por rayos cósmicos, γ , X, la radiación ultravioleta (UV), visible (VS), infrarroja (IR), las microondas y las ondas de radiofrecuencia (6). En la figura 2 podemos ver la representación gráfica del espectro electromagnético distribuido según la longitud de onda; desglosando en el caso de la radiación visible los distintos colores según su longitud de onda.

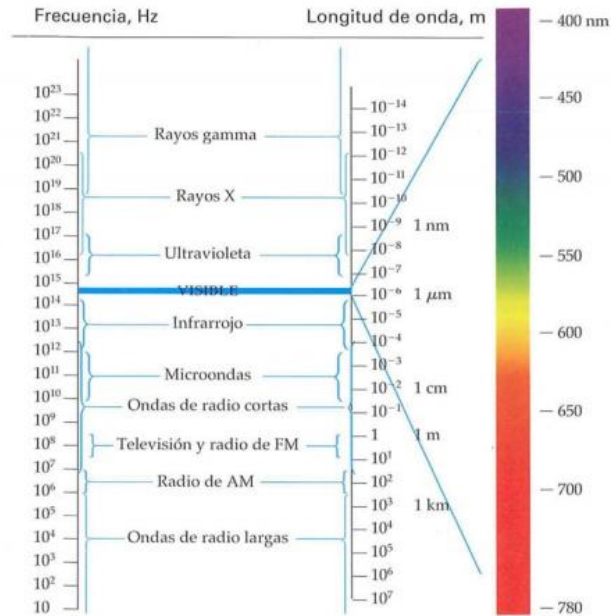


Figura 2. Representación gráfica de las distintas radiaciones del espectro electromagnético distribuido según su longitud de onda. (2)

Si tenemos en cuenta que los filtros son elementos selectivos de estas radiaciones, los podemos clasificar en diafragmas (elementos que limitan la extensión de los haces de luz), filtros cromáticos (modifican la composición espectral de la radiación), filtros de densidad neutra o atenuadores (aquellos que no modifican la composición espectral de la radiación, aunque la atenúan) y polarizadores (afectan las características de la vibración del vector eléctrico) (5). Con todo esto podemos hablar de filtros ópticos cromáticos, haciendo referencia al tipo de energía que va a interactuar y al efecto que producirán sobre ésta los filtros de la investigación. De todo el espectro electromagnético, las radiaciones que más afectan a las estructuras del ojo se deben a las radiaciones no ionizantes (6). Estas radiaciones están definidas, según la Internacional Commission of Non-Ionizing Radiación Proteccion (ICNIRP) (7), cómo al término genérico que describe la radiación electromagnética que no lleva suficiente energía fotónica para ionizar átomos o moléculas. Dentro del espectro electromagnético, están incluidos en esta definición la radiación ultravioleta (180nm a 380nm), la radiación visible (380nm a 780nm) y el infrarrojo (780nm a 1400nm). En la figura 3 se observa la representación de la distribución de estas radiaciones según la longitud de onda, la radiación ultraviolada, para la cual se diferencia entre ultraviolada A (UVA),

ultraviolada B (UVB) y ultraviolada C (UVC), la radiación visible (VS) y la radiación infrarroja (IR).

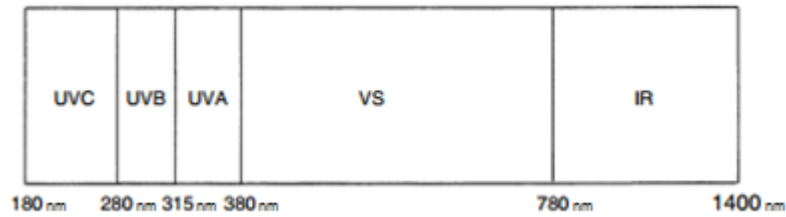


Figura 3. Representación gráfica de la distribución de las radiaciones no ionizantes del espectro electromagnético según su longitud de onda. (6)

La interacción de las radiaciones no ionizantes tanto sobre las estructuras del ojo cómo sobre los filtros ópticos espectrales, se produce por la absorción de una parte o la totalidad de la energía que transporta la onda electromagnética (2).

La transferencia de energía, la podemos explicar a través de las propiedades corpusculares de la luz. Éstas nos explican que un corpúsculo luminoso o fotón posee una energía E relacionada con la frecuencia f y la longitud de onda λ de la onda luminosa a través de la ecuación de Einstein (2),

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{Ec. (1)}$$

Ecuación 1. Ecuación de Einstein. Donde c es la velocidad de la luz y h la constante de Planck (2).

De la ecuación 1 observamos que para longitudes de onda más bajas obtendremos una energía E más alta y para longitudes de onda altas obtenemos valores de E menores.

Para estudiar el efecto de los filtros ópticos cromáticos sobre la radiación emitida por una fuente de luz, será indispensable conocer la emisión espectral de dicha fuente de luz. Podríamos hablar de la radiación solar como la principal fuente de emisión, pero evidentemente existen numerosas fuentes de luz como las incandescentes, fluorescente, incluso los dispositivos LED que se encuentran en ordenadores, televisores y teléfonos móviles de última generación. Cada una de estas fuentes de luz, tendrá su propio espectro de emisión característico.

Conocido el espectro de emisión de la fuente de luz utilizada, nos interesa determinar el efecto que los filtros ópticos espectrales ejercen sobre dicha radiación. Para ello será indispensable conocer o determinar el espectro de transmisión del filtro considerado. Una vez conocemos estos dos espectros, si hacemos el cociente del espectro de transmisión del filtro con el espectro de emisión de la fuente luminosa de referencia, obtenemos la transmitancia espectral (si además multiplicamos por 100 se obtiene cómo porcentaje). Es decir, obtenemos cual es el efecto del filtro óptico sobre las distintas longitudes de onda que inciden en él.

Si con los valores obtenidos se hace la representación gráfica, se obtiene la curva de transmitancia espectral. En la figura 4 observamos la representación gráfica de las distintas curvas de transmitancia espectral de los filtros terapéuticos de un mismo fabricante. En el eje X se representa la longitud de onda en nanómetros y en el eje Y la transmitancia en %.

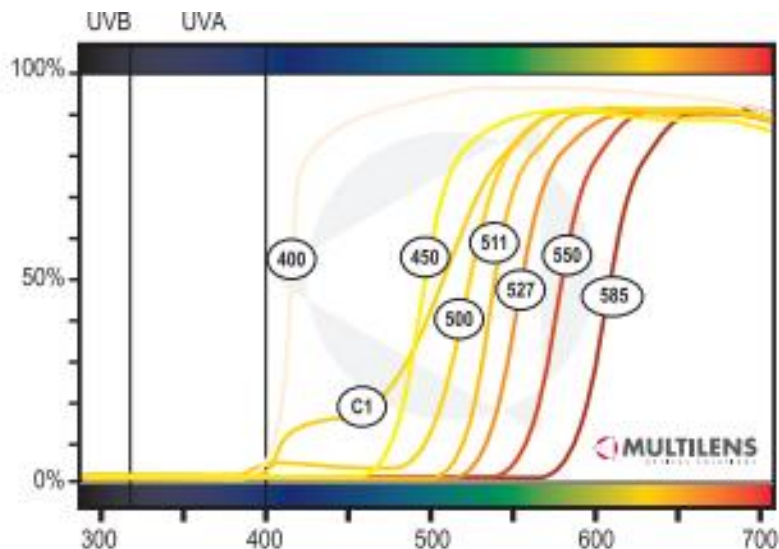


Figura 4. Representación gráfica de las diferentes curvas de transmisión de los filtros terapéuticos de la casa comercial Multilens, que se distribuye en España a través de Recoletos visión (8).

Observando la figura 4, se puede apreciar que cada gráfica está marcada con un número distinto, este corresponde al punto de corte en el espectro electromagnético. Éste punto de corte, corresponde a la longitud de onda en la cual el valor de transmitancia espectral es del 1% (6). Éste valor adquiere especial importancia en éste estudio, ya que establece una definición que es muy utilizada por las distintas casas comerciales de filtros ópticos cromáticos (9) (10) (11).

Los filtros ópticos para baja visión forman parte de las lentes oftálmicas, por lo tanto, deben cumplir los distintitos estandartes de calidad en cuanto a las tolerancias y procesos de fabricación se refiere; que están reguladas, entre otras entidades, por las normativas ISO (12) que se enumeran a continuación:

- DIN EN ISO 14889 sobre exigencias básicas relativas a lentes oftálmicas
- DIN EN ISO 8980/1-3 sobre exigencias relativas a tipos especiales de lentes
- DIN EN ISO 13666 sobre términos de óptica oftálmica
- Directivas 89/686/CEE sobre lentes de protección solar y 98/42/CEE sobre dispositivos médicos (contiene estipulaciones que deben cumplir lentes oftálmicas, monturas para gafas, lentes de contacto e instrumentos oftalmológicos).

La coloración de los filtros ópticos cromáticos dependerá del sustrato de los mismos. Podemos encontrar filtros cromáticos orgánicos y minerales.

En el caso de los orgánicos, que en esta investigación son la mayoría de las muestras obtenidas, la coloración se obtiene por inmersión, teniendo de este modo una gran variabilidad de colores y tonos (6). Para este tipo de procedimiento no existe ningún protocolo estandarizado de coloración, aunque las casas que comercializan los tintes suelen proveer de recomendaciones para su uso (13). En la figura 5 podemos observar un tipo de cubeta que se utiliza para la coloración de las lentes orgánicas, viendo que hay distintas combinaciones para conseguir el color deseado. En la figura 6 podemos apreciar las pinzas de sujeción para la inmersión de la lente en el colorante. En la figura 7 podemos ver uno de los tipos de colorantes utilizados. Se puede apreciar la inscripción del color que contiene, en este caso amarillo.



Figura 5 Coloración de una lente orgánica



Figura 6. Pinzas de sujeción de la lente



Figura 7. Colorante lente orgánica

Otro tipo distinto de fabricación de filtros terapéuticos son los filtros minerales fotocromáticos, de los que sólo tienen la fabricación la casa comercial Corning. Éstos tienen la característica que se oscurecen con la radiación solar y recuperan

su estado inicial cuando se carece de ella. Esto implicará que encontraremos dos curvas de transmitancia (6). Aunque existen lentes fotocromáticas orgánicas, no están clasificadas por los fabricantes como filtros terapéuticos.

Por último, podemos encontrar también lentes polarizadas, que sólo se fabrican en orgánico y que se caracterizan porque una vez la radiación ha pasado a través del filtro sólo deja pasar los frentes de onda cuyo vector campo eléctrico vibra en una determinada dirección, de esta manera obtendremos luz totalmente polarizada (6), consecuentemente se obtendrá una disminución de la transmitancia por igual en todas las longitudes de onda.

2.2. Filtros cromáticos y discapacidad visual

Para los filtros ópticos cromáticos utilizados en el tratamiento de pacientes con discapacidad visual existen dos terminologías que están aceptadas tanto por parte de los fabricantes (9) (14) como por parte de los optometristas (15) (16) para referirse a los filtros ópticos cromáticos estos son filtros de absorción selectiva o filtros terapéuticos. Aunque quizás el término filtro terapéutico está más extendido en la práctica diaria.

El origen de los dos términos utilizados, aunque da nombre a lo mismo, es bien distinto. Filtro de absorción selectiva hace referencia al efecto que produce el filtro sobre la luz que incide en él. Pudiendo definir según el diseño del mismo, que parte de esta luz es absorbida y que parte de esta luz es transmitida. Por otro lado, filtro terapéutico se refiere al efecto que produce el filtro sobre las distintas estructuras de nuestros ojos. En este caso, tal y como su propio nombre indica, produce un efecto terapéutico. Entendiendo terapéutico y según el diccionario de la Real Academia Española al conjunto de prácticas y conocimientos encaminados al tratamiento de dolencias. (17).

Para explicar el término deficiencia visual nos basamos en la definición de la Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE), “cuando hablamos en general de ceguera o deficiencia visual nos estamos refiriendo a condiciones caracterizadas por una limitación total o muy seria de la función visual. Es decir, nos estamos refiriendo a personas que, o bien no ven absolutamente nada, o bien, en el mejor de los casos, incluso llevando gafas o utilizando otras ayudas ópticas, ven mucho menos de lo normal y realizando un gran esfuerzo. Y esta pérdida grave de funcionalidad de la visión se va a manifestar, por un lado, en limitaciones muy severas de la persona para llevar a cabo de forma autónoma sus desplazamientos, vida diaria, o el acceso a la información. Por otro, en restricciones para el acceso y la participación de la persona en sus diferentes entornos vitales: educación, trabajo, ocio, etc., y que adoptan la forma, no sólo de barreras físicas y arquitectónicas, sino también sociales y actitudinales”. (18)

Existen distintos niveles de discapacidad visual (DV), que la OMS (Organización Mundial de la Salud), en su versión online clasifica de la siguiente manera (19):

- visión normal
- discapacidad visual moderada
- discapacidad visual grave
- ceguera

La discapacidad visual moderada y grave se reagrupan comúnmente bajo el término «baja visión»; la baja visión y la ceguera representan conjuntamente el total de casos de discapacidad visual.

Para estos pacientes, es común en la práctica diaria el uso de filtros terapéuticos. Las principales funciones que estos filtros ejercen sobre éste perfil de pacientes se encuentran: la mejora de la función visual (compuesta por la agudeza visual (AV), el campo visual (CV), la sensibilidad al contraste (SC), la estereopsis, la percepción cromática y la adaptación a la oscuridad) (20), la disminución del deslumbramiento y el efecto de prevención de daños sobre las estructuras del ojo.

Tal y cómo se indica en la obra *Essentials of Low Vision Practice* (19), ésta mejora se produce por la atenuación de la cantidad de luz que llega al ojo a niveles confortables (tanto en interior cómo en exterior), reduciendo la incomodidad, y el deslumbramiento. La reducción del deslumbramiento se produce por la eliminación de las longitudes de onda cortas hasta los 500nm (20). En el estudio de Cendrún et al. (21), se describe una mejoría de la capacidad de discriminación visual con el uso de filtros amarillos, en condiciones de baja iluminación en pacientes con retinosis pigmentaria. Sadeghpour N. et al. (22) encuentra una mejora de la sensibilidad al contraste (pasando de 3 a 6 ciclos/grado) con el uso de filtros terapéuticos con el punto de corte en el espectro visible de 527nm y 550nm. Además había una mejora de la agudeza visual con el filtro terapéutico de 527nm para pacientes con baja visión debido a retinopatía diabética. Otro estudio de Colombo L. et al, en este caso con pacientes con escotoma central y otros con escotoma periférico, demuestra una mejora de la función visual en todos los sujetos estudiados con el uso de filtros fotocromáticos con corte en la luz azul-violeta.

Como se puede apreciar en los estudios anteriormente mencionados, la mejora de la función visual no solo dependerá del tipo de filtro utilizado, sino que también de la patología con la que esté afectado el paciente de baja visión y del componente subjetivo de éste. Por ejemplo, en la investigación de Bailie M. et al. (23) con pacientes con baja visión debido a Degeneración Macular Asociada a la Edad (DMAE), se encuentra una reducción en la visión del color pero que no es apreciado subjetivamente por los usuarios y no se encuentra ninguna mejora en la agudeza visual y en la sensibilidad al contraste. En cualquier caso, se demuestra la mejora de la función visual con el uso de filtros terapéuticos. En la figura 8 vemos

un cuadro resumen de los filtros que se utiliza dependiendo de la patología a tratar según los fabricantes.

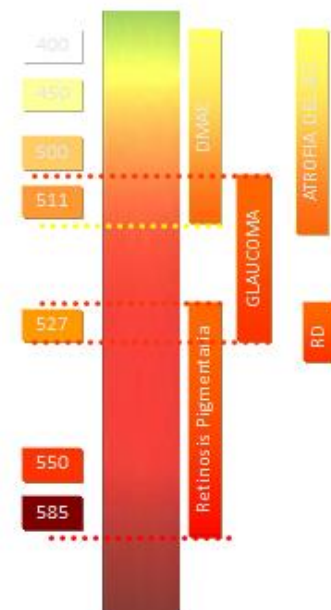


Figura 8. Figura resumen de las orientaciones que las casas comerciales indican entre la patología y el filtro aconsejado.

Por otro lado, el aspecto terapéutico de filtros, se produce por la absorción de las radiaciones no ionizantes ya que, tal y como se indica anteriormente, son las que más afectan a las estructuras del ojo. En este aspecto, podemos encontrar en la obra Óptica Clínica (24) que éste tipo de radiaciones puede producir fotoqueratitis; relacionado también con la exposición continuada de radiación ultravioleta está la pterigia, pinguécula y queratopatía en banda. En el cristalino debido al efecto acumulativo de la radiación provocan cataratas. A nivel de retina, el estudio de Park SI et al. (25) se demuestra una protección significativa en lentes tintadas frente a luz azul LED. Otro estudio de Yoshiki Kuse et al. (26) sugiere, con los resultados obtenidos en su estudio, que la luz LED azul puede dañar los conos de la retina. La conocida tesis de Celia Sánchez-Ramos, concluye que una exposición prolongada de luz de longitudes de onda corta (en experimentación animal), tiene efectos nocivos para ciertas estructuras de la retina y parte de estos efectos se pueden prevenir con el uso de filtros de absorción selectiva (27). Ante estos resultados, podríamos hablar de la acción terapéutica de los filtros espectrales. En el uso de todos estos filtros por parte de los pacientes, los soportes que se pueden adaptar a los pacientes con discapacidad visual y que están disponibles en el mercado los podemos observar en las siguientes figuras. En la figura 9 podemos observar un filtro terapéutico con una montura diseñada para poner encima de la gafa graduada, en la figura 10 se muestra un filtro terapéutico en formato de

suplemento para montar encima de la gafa del usuario y en la figura 11 observamos el filtro integrado en una gafa graduada.



Figura 9. Filtro en formato montura para poner encima de la gafa graduada (28)



Figura 10 Filtro en formato de suplemento solar (29)



Figura 11. Filtro integrado en una gafa graduada (30)

3. Motivación del trabajo

En el mercado actual las casas comerciales ofrecen diversos filtros terapéuticos diseñados especialmente para pacientes con discapacidad visual.

No todas ellas ofrecen la misma información sobre los filtros que comercializan. Nos podemos encontrar una orientación sobre las patologías con las que mejor funcionan sus filtros, el punto de corte en el espectro visible, la gráfica de transmitancia espectral; pudiendo aportar todos estos datos o sólo alguno de ellos.

De lo que no se obtiene información o es dificultoso obtener es de las condiciones en las cuales estas medidas están realizadas. Esto implica que no se pueden contrastar informaciones de los distintos proveedores ya que la interpretación que se pueda dar puede ser correcta para unos pero incorrecta para otros.

Otra problemática se podría encontrar en la fiabilidad de la reproducción de los filtros terapéuticos. Para el coloreado de la lente no existe ningún protocolo estandarizado, por lo tanto, se habla de un procedimiento manual, no existiendo ninguna normativa ni protocolo para su validación, hecho que afectará a la reproducibilidad. Este aspecto, nos genera la siguiente pregunta, ¿son realmente los filtros que se reciben igual que las muestras con las que se trabaja en gabinete?

Poder conocer la fiabilidad en la reproducibilidad establece la calidad del trabajo de las casas comerciales. Así como también se establece el nivel de seguridad, tanto para el optometrista como para los pacientes, que una vez se ha personalizado la ayuda visual sea lo más parecido posible a las pruebas hechas en gabinete.

Todas las observaciones anteriores han hecho plantearnos los objetivos de este trabajo y también lo justifica, ya que para poder prescribir un filtro es importante tener la mayor cantidad y más precisa información sobre el producto. El hecho de poder obtener una tabla de equivalencias, de similitudes y diferencias, entre los distintos filtros ofrece al optometrista la posibilidad de poder tener un criterio comparativo objetivo.

Por otra parte, algunos de éstos pacientes, no gozan de los recursos económicos necesarios para adquirirlos. Por éste motivo se valorará la curva de transmitancia de filtros de precio mucho más económico, y que se comercializan para otros usos.

4. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es analizar la transmitancia espectral de los filtros terapéuticos comercializados en España en el tratamiento de pacientes con discapacidad visual.

Como consecuencia, existen una serie de objetivos específicos:

- Describir un protocolo de medida de la transmitancia para la caracterización de los filtros terapéuticos.
- Hacer las medidas con el protocolo descrito.

Con las medidas se deberán:

- Estudiar las diferencias y similitudes entre los distintos filtros de absorción selectiva.
- Comparar la información obtenida del fabricante
- Comparar muestras similares de distintas casas comerciales.
- Valorar la influencia de la potencia de graduación, de los distintos materiales con los cuales se fabrican y la reproductibilidad.

Por último, analizar filtros cromáticos de bajo coste que pudiesen ser utilizados a nivel terapéutico en pacientes con bajos recursos económicos.

5. Método de medida

5.1 Muestras

5.1.1 Criterios de inclusión y exclusión

Se consideró incluir en el estudio a los principales fabricantes o distribuidores de España de filtros terapéuticos estuviesen o no especializados en baja visión.

Quedaban excluidos en el estudio aquellos fabricantes o distribuidores que en su catálogo no incluyesen filtros de terapéuticos o no estuviesen comercializados en España.

Por lo tanto, según los criterios antes descritos, 9 de los 13 fabricantes o distribuidores aceptaron participar desinteresadamente en el estudio aportando sus muestras, excluyéndose finalmente a Cristales Ópticos Tresserras (COTSA), Hoya, Industria de Óptica Hispano (IOH) y Seiko. Quedaron incluidos en él AVS baja visión, Corning, Eschenbach, Essilor, Indo, Naturlens, Prats, Recoletos y Zeiss.

5.1.2 Obtención de las muestras

Las vías para obtener las muestras fueron diversas. Primeramente, se realizó una búsqueda de las páginas web de los distintos proveedores.

El contacto por vía telefónica era la primera opción, en su defecto el contacto se hacía vía correo electrónico a través de una carta de presentación (Anexo 1).

Una vez establecido el primer contacto, se envió a todos los proveedores que lo solicitaron una carta explicativa con las principales características del estudio, como también el tiempo necesario para poder trabajar con las muestras (Anexo 2).

Otra vía para la obtención de las muestras fueron los filtros terapéuticos que se encuentran en la Unidad de Baja Visión del Centre Universitari de la Visió (CUV) de la Facultat d' Òptica i Optometria de Terrassa, los cuales nos sirvieron para valorar la reproducibilidad de lentes.

Finalmente, el total de filtros a analizar fueron 89. En la figura 12 se observa una tabla descriptiva de las muestras obtenidas para cada casa comercial.

CASA COMERCIAL	NÚMERO DE MUESTRAS
AVS	7
Corning	10
Eschenbach	8
Essilor	10
INDO	6
Naturlens	8
Prats	10
Recoletos	20
Zeiss	6
LEE	4

Figura 12. Tabla de relación entre fabricante y número de muestras obtenidas

5.2 Material

5.2.1 Espectroradiómetro

Las curvas de radiancia espectral de la fuente de luz y de los filtros evaluados que nos permiten calcular la transmitancia espectral de los filtros, fueron obtenidas con un espectroradiómetro PHOTO RESEARCH PR-715, que permite realizar medidas cada 4 nm. entre las longitudes de onda extremas 380 nm. y 1068 nm. y que pertenece al grupo de investigación

GOAPI (Grup d'Òptica Aplicada i Procesament d'Imatge) del Departament d'Òptica i Optometria de la UPC.

Para nuestro estudio nos centraremos en los datos proporcionados dentro del espectro visible, de 380 a 780nm. Los filtros cromáticos terapéuticos analizados tendrán la longitud de onda de corte dentro de éste intervalo de medida.

En la figura 13 podemos ver una imagen del espectralradiómetro utilizado.



Figura 13. Imagen del espectralradiómetro PHOTO RESEARCH PR-715.

Un software proporcionado por el mismo fabricante del espectralradiómetro permite la realización de las medidas y su posterior análisis. En la figura 14 podemos observar una imagen del software utilizado.

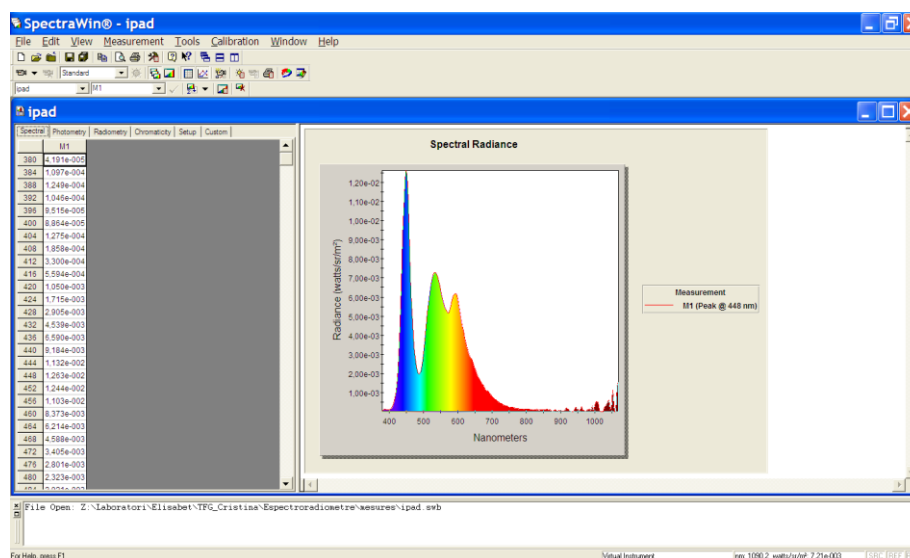


Figura 14. Imagen del software SPECTRAWIN del espectralradiómetro PHOTO RESEARCH PR-715

5.2.2 Iluminante

Para la elección del iluminante, sería conveniente poder disponer de una fuente de luz que emitiera de forma equienergética radiación dentro de todo el rango de longitudes de onda de medida (380-780nm). Es decir, que la radiancia tenga una distribución uniforme y con una cantidad de energía suficiente para que el ruido del espectroradiómetro no altere la toma de medidas. Este requisito es difícil de cumplir puesto que tal fuente de luz no existe, a no ser con fuentes muy novedosas y específicas que combinan diferentes fuentes de emisión LED.

De los iluminantes disponibles en la cabina de iluminación en el laboratorio, el más cercano a los requisitos mencionados fue el iluminante D65. Este corresponde según la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) (31) a la representación artificial de la denominada luz de día. En la figura 15 podemos observar la representación gráfica de la distribución espectral del iluminante D65 obtenida en el laboratorio del GOAPI.

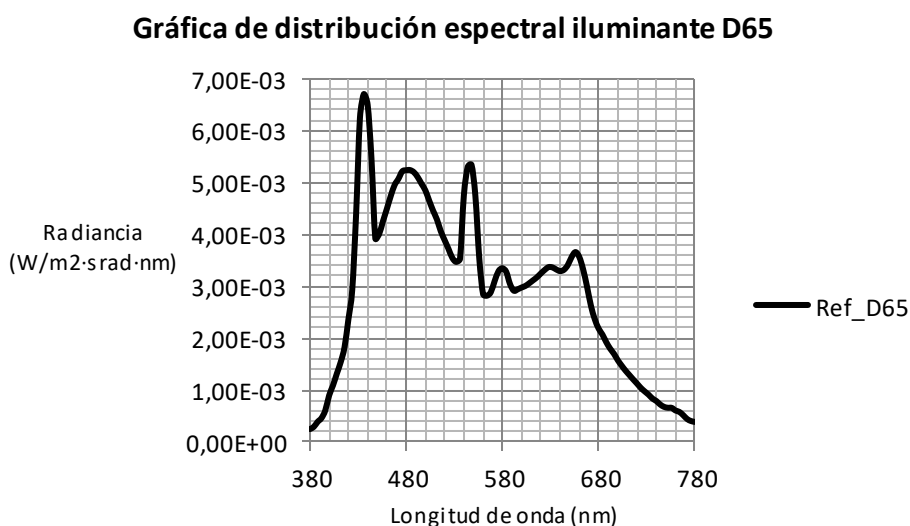


Figura 15. Gráfica de la distribución espectral del iluminante D65 obtenida en el laboratorio.

Para el uso del iluminante durante las medidas en el laboratorio, se tuvo en cuenta diversos aspectos descritos a continuación:

- Encender los tubos fluorescentes 30 minutos antes de la toma de medidas para asegurar que la temperatura del tubo fluorescente fuese uniforme durante las medidas.
- La toma de medidas no se pudo realizar durante una sola sesión, por lo tanto, la distribución espectral del iluminante de referencia se tomaba de nuevo para cada nueva sesión.
- El formato de las muestras recibidas era distinto para los distintos fabricantes, fue necesario el uso de un diafragma para reducir el tamaño del objetivo del espectroradiómetro para las muestras más

pequeñas. En la figura 16 se observa la imagen del diafragma utilizado para reducir el tamaño del objetivo.



Figura 16. Imagen del diafragma utilizado en el laboratorio.

Por lo tanto, también teniendo en cuenta el punto anterior, se tomaba la distribución espectral del iluminante con diafragma para las muestras más pequeñas. La única diferencia que había entre las medidas con diafragma y sin diafragma era la cantidad de energía que media el espectralradiómetro. Este hecho no afecta a las medidas de transmisión espectral de los filtros siempre que se comparen y normalicen los resultados obtenidos con los de la fuente de luz en las mismas condiciones de medida (con y sin diafragma). En la figura 17 se adjunta una gráfica comparativa entre la distribución espectral con diafragma y sin diafragma.

Gráfica comparativa de la distribución espectral del iluminante D65 con y sin diafragma

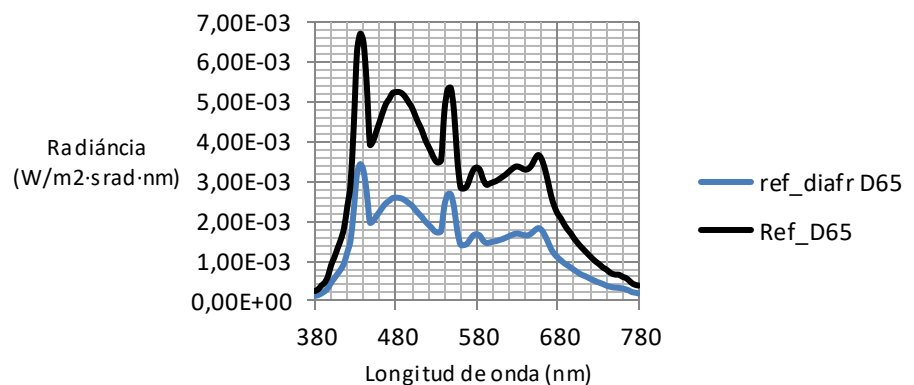


Figura 17. Gráfica comparativa de la distribución espectral del iluminante D65 con y sin diafragma obtenida en el laboratorio.

5.2.3 Soporte muestras

Para el soporte de las muestras, se optó por unas pinzas para soldar que se encuentran en los talleres de óptica. Los distintos grados de libertad que ofrecen permiten la sujeción de las lentes en cualquiera de los formatos que tenían las muestras. También permitían que la posición de la muestra delante del objetivo del espectroradiómetro fuese tal y como el usuario utiliza los filtros cromáticos. Es decir, poniendo parte cóncava del filtro mirando al ojo del usuario y sustituyendo la posición del ojo observador por el espectroradiómetro. En la figura 18 podemos observar la pinza para soldar utilizada como soporte sujetando una de las muestras.

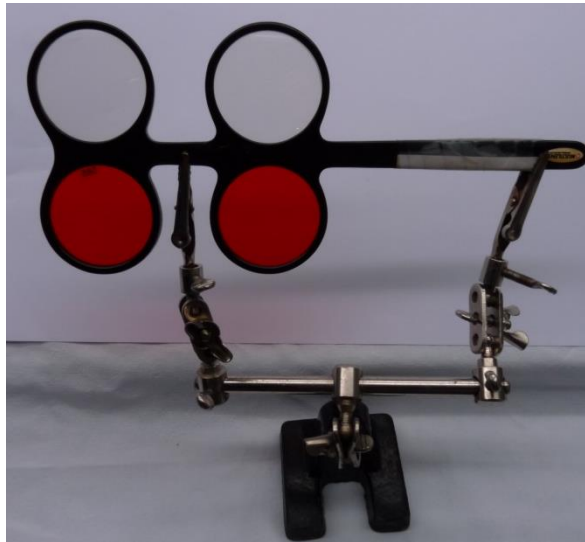


Figura 18. Imagen del soporte de las muestras utilizado durante las medidas en el laboratorio.

5.3 Diseño del sistema de medida

El montaje final para poder realizar las medidas fue el siguiente: al encontrarse el iluminante dentro de una cabina de iluminación, se colocó un soporte (siempre en la misma posición dentro de la cabina) inclinado a 45° con un papel en blanco delante del espectroradiómetro y paralelo al sensor del mismo para poder evitar reflexiones especulares.

La colocación de la muestra, se hizo a través de las pinzas para soldar, colocando la muestra simulando la posición que habitualmente tienen los filtros terapéuticos utilizados por los pacientes. La distancia a la cual estaba la muestra respecto al objetivo del espectroradiómetro era la mínima que permitía el sistema de sujeción (entre 0 y 5mm), y estos dos a una distancia fija respecto al soporte (30cm). En la figura 19 podemos ver la imagen de la cabina de iluminación con el espectroradiómetro, el soporte situado a 45° y el papel utilizado para reflejar la luz del iluminante. En la figura 20 vemos con detalle la posición de la muestra respecto al objetivo del espectroradiómetro utilizado en la toma de medidas en el laboratorio. En la figura 21 se puede ver el montaje final obtenido para la toma de

medidas en el laboratorio con el uso del diafragma para aquellas muestras de diámetro menor que no cubrían la totalidad de la apertura del espectralradiómetro.

En el caso especial de los filtros terapéuticos fotocromáticos, debe tenerse en cuenta que las muestras no se pueden exponer al iluminante hasta el momento de hacer las medidas, ya que al trabajar con luz D65 podría activar el efecto fotocromático. Por ese motivo, se mantenían las muestras cubiertas en todo momento y se sacaban justo para realizar una primera medida. A continuación, para activar el fotocromático, se expusieron las muestras a la radiación solar durante 10 minutos. Transcurridos estos 10 minutos, se hacía una segunda medida de la muestra en el laboratorio.



Figura 19. Imagen de la cabina de iluminación y la posición del espectralradiómetro y el soporte para reflejar difusamente la luz del iluminante.



Figura 20. Imagen de la colocación de la muestra en el espectralradiómetro.



Figura 21. Imagen del montaje final de la toma de medidas utilizando el diafragma.

6. Resultados

Debido al volumen de muestras estudiadas, se generó un código para poder organizarlas y poder identificar las muestras de una manera rápida e inequívoca. Éste código también se continuará utilizando tanto para los resultados como para el posterior análisis de las muestras y es el siguiente:

- Las dos primeras letras corresponden al identificativo del fabricante en mayúscula.
- Seguidamente podemos encontrar una f (fotocromático) una p (polarizado) o el número indicativo del índice de refracción de la muestra (sino hay ningún número indicativo se sobreentiende que es el índice de refracción 1.5).
- Seguidamente encontramos los caracteres identificativos del modelo de la muestra en minúscula.
- El último número que aparece indica el número de muestra que se está trabajando. Este valor tiene especial interés en los casos en que se disponía de dos muestras iguales del mismo filtro cromático.
- En el caso específico de las muestras de vidrios fotocromáticos, se añade un asterisco al final para indicar que la medida se ha hecho con el fotocromático activado.

En la figura 22 podemos ver un ejemplo del código utilizado para la identificación de las muestras.

COF4501*

- CO: Corning
- f: fotocromático
- 450: filtro 450
- 1: muestra 1
- *: fotocromático activado

Figura 22. Ejemplo de la codificación de las muestras.

Para facilitar la representación e interpretación de los datos en las gráficas, se ha asignado un color de representación distinto para cada casa comercial. En la figura 23 observamos un cuadro resumen de las siglas utilizadas para cada fabricante, los filtros terapéuticos que comercializan junto con la codificación utilizada, la longitud de onda de corte que proporcionan los proveedores (si no se indica, no lo proporcionan) y el color que se le ha asignado a cada empresa para la representación de las gráficas.

Fabricante	Siglas	Nombre comercial muestra	Código	Longitud de corte	Color	
AVS	AV	400	400	400 nm	Verde	
		450	450	450 nm		
		511	511	511 nm		
		527	527	527 nm		
		550	550	550 nm		
		585	585	585 nm		
Corning	CO	600	600	600 nm	Azul	
		450	450	450 nm		
		450 XD	45x	450 nm		
		511	511	511 nm		
		527	527	527 nm		
		550	550	550 nm		
Eschenbach	EC	XD 550	xd5	550 nm	Amarillo	
		glarecutter	gla			
		1662450 solar comfort	450	450 nm		
		1662511 solar comfort	511	511 nm		
		1662527 solar comfort	527	527 nm		
		1662550 solar comfort	550	550 nm		
Essilor	ES	wellness protect 15	wp85	470 nm	Naranja	
		wellness protect 65	wp65	470 nm		
		wellness protect 85	wp15	470 nm		
		wellness protect 50/15	wp5/1	470 nm		
		Lumior 1	lu1	400 nm		
		RT degradado	drt	400 nm		
Indo	IN	BLX	blx	405 nm	Rojo oscuro	
		Lumior2	lu2	445 nm		
		RT3	rt3	445 nm		
		Lumior 3	lu3	455 nm		
		Lumior orangé	luo	460 nm		
		RT4	rt4	560 nm		
Natlens	NL	INDO care 440	440	440 nm	Azul oscuro	
		INDO care 527	527	527 nm		
		INDO care 500	500	500 nm		
		450	450	450 nm		
		500	500	500 nm		
		511	511	511 nm		
Prats	PR	527	527	527 nm	Azul Claro	
		550	550	550 nm		
		585	585	585 nm		
		511 MARRON	511	511 nm		
		527	527	527 nm		
		550 MARRON	550	550 nm		
Recoletos	RE	585	585	585 nm	Rojo	
		C1	c1	450 nm		
		ML filter 400	400	400 nm		
		ML filter 450	450	450 nm		
		ML filter 500	500	500 nm		
		ML filter 511	511	511 nm		
Zeiss	ZE	ML filter 527	527	527 nm	Verde claro	
		ML filter 585	585	585 nm		
		ML filter C1	c1	450 nm		
		ML filter LLR	llr			
		Claret F540	540	540 nm		
		Claret F560	560	560 nm		
Filtro ideal	ID	Claret F580	580	580 nm	Negro	
		Claret F60	60	600 nm		
		Claret F80	80	600 nm		
		Claret F90	90	600 nm		

Figura 23. Cuadro resumen del código utilizado para las muestras utilizadas.

Para la interpretación de los resultados, se ha optado por generar una representación gráfica del filtro ideal, es decir, cuya transmitancia sería nula o del 0% antes de la longitud de onda de corte en el espectro visible y del 100% después de la misma. A esta norma hay que añadir las siguientes excepciones:

- Los filtros Wellness Protect, de Eschenbach, existen tres variantes la 15, 65 y 85 éste número nos indica la transmisión después de la longitud de corte.
- El filtro C1, que lo comercializan tanto Prats como Recoletos, la transmitancia antes de la longitud de corte es del 20%.
- Los filtros F60, F80 y F90, de Zeiss, en éste caso transmiten el 40%, el 20% y el 10% respectivamente después de la longitud de corte.

Todas estas excepciones se han representado apropiadamente en la curva del filtro ideal. De esta manera se puede establecer visualmente si el resultado obtenido en el laboratorio se acerca o aleja del resultado ideal. En todos los casos la gráfica del filtro ideal aparece de color negro y adopta el nombre del filtro de absorción selectiva que se quiere valorar (en las representaciones de un filtro dónde no aparece la gráfica del filtro ideal, significa que no se ha podido obtener la información necesaria para poderla generar).

Para todas las gráficas se ha adjuntado, en el ángulo inferior derecho, una imagen de la muestra utilizada.

En la figura 24 podemos observar la gráfica de la transmitancia del filtro 400 de la casa comercial AVS, en color verde, comparada con la del filtro ideal, en color negro. En el ángulo inferior derecho se puede apreciar una imagen de la muestra analizada.

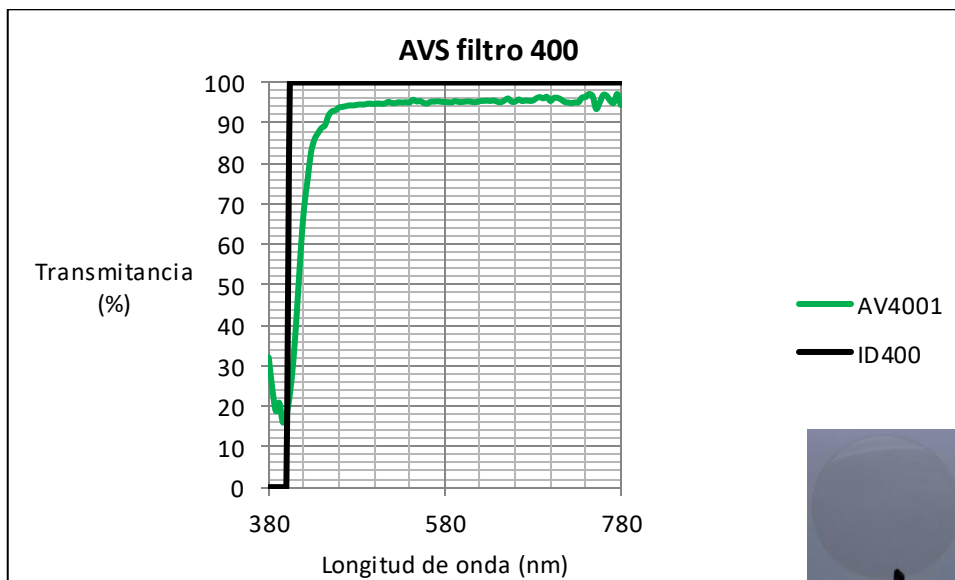


Figura 24. Representación gráfica comparativa del filtro 400 de la casa comercial AVS con el filtro ideal.

Para el caso específico de los filtros terapéuticos fotocromáticos, una misma muestra genera dos gráficas, las dos tienen el mismo color, la más saturada corresponde al fotocromático activado y la menos saturada corresponde al fotocromático desactivado. En la figura 25 podemos ver un ejemplo de la representación gráfica de

un filtro terapéutico fotocromático. La línea azul más saturada corresponde al fotocromático activado; la línea azul menos saturada corresponde al fotocromático desactivado. En el ángulo inferior derecho vemos una imagen de la muestra analizada.

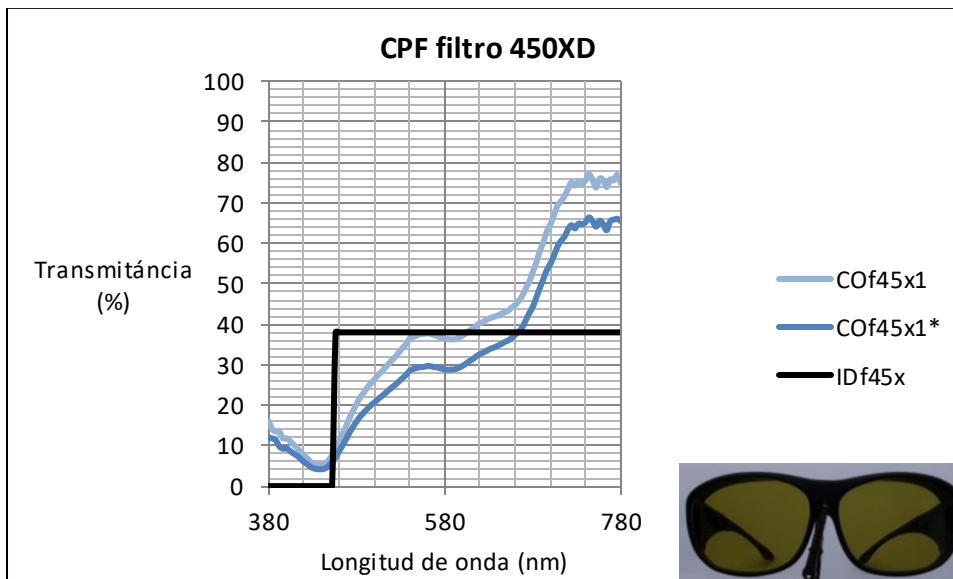


Figura 25. Representación gráfica comparativa del filtro 450 XD de la casa comercial Corning con el filtro ideal.

Para poder analizar las gráficas, se ha analizado la longitud de onda de corte y se han dividido en tres zonas:

- La zona A: que corresponde a la gráfica antes del punto de corte en el espectro, se debe caracterizar por obtener valores de transmitancia mínimos, es decir, que sean del 0% o muy próximos a él. También debe caracterizarse por ser lo más horizontal posible. No se ha tenido en cuenta los valores próximos a 380nm ya que los valores de transmitancia son producto del ruido del espectralímetro.
- La zona B: corresponde a la zona de transición donde la gráfica pasa de la mínima transmitancia a la máxima y que debe ser lo más estrecha y vertical posible. –
- La zona C, que corresponde a la zona donde el filtro recupera la máxima transmitancia, debe caracterizarse por acercarse lo máximo posible al valor de transmitancia ofrecido por el fabricante como también ser lo más horizontal posible.
- La longitud de onda de corte: que tiene que ser lo más próximo posible al valor marcado por la casa comercial. Se toma como tal el punto en el que la transmitancia deja de tener el valor mínimo y ya no decrece hasta llegar al valor máximo. También se caracteriza por ser el inicio de la zona B.

En la figura 26 vemos una gráfica de transmitancia indicando la zona A, la zona B, la zona C y la longitud de onda de corte que se utilizan para el análisis de los resultados.

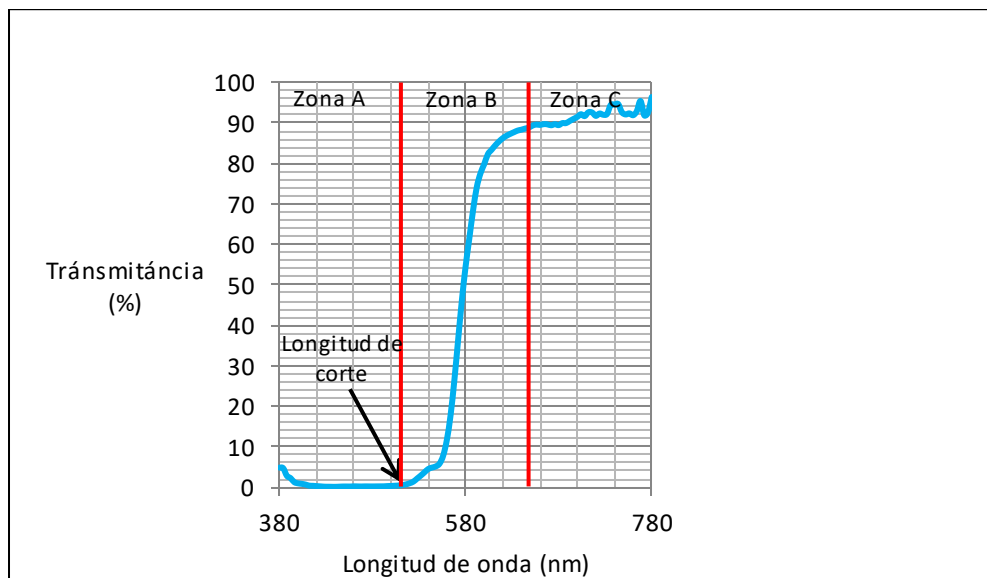


Figura 26. Gráfica dónde se indican los aspectos a analizar en cada uno de los filtros. La longitud de onda de corte y las zonas A, B y C.

En los extremos de todas las gráficas aparecen zonas de oscilaciones más o menos acentuadas que se producen porque corresponde a zonas del espectro visible dónde la energía emitida por el iluminante es muy baja, de manera que al calcular la transmitancia como el cociente entre las dos curvas (la del filtro y la de la fuente de luz), los valores numéricos pequeños del denominador pueden resultar en variaciones importantes de la medida realizada. Estas zonas, no se han tenido en cuenta a la hora de dar valores medios de transmitancia.

Todos los resultados obtenidos así como las gráficas de transmitancia ofrecidas por las casas comerciales se pueden consultar en el Anexo 3.

7. Análisis

Dado que el número de muestras analizadas es muy importante, se ha optado por presentar los resultados de manera agrupada, y teniendo en cuenta distintos aspectos. Todos los análisis que vienen a continuación son comparativas visuales de las diferentes curvas de transmisión que se han obtenido como resultados. Los criterios de análisis siguen las mismas directrices que las indicadas en el apartado anterior. Para evitar confusiones entre las muestras analizadas, se ha trabajado siempre con el mismo código que en los resultados y que viene esquematizado en la figura 23.

7.1 Reproducibilidad de un filtro terapéutico

En este apartado vamos a analizar algunas de las variables que pueden influir en la transmitancia espectral de los filtros cromáticos terapéuticos; comparando las gráficas de transmitancia obtenidas.

7.1.1 Repetitividad de las medidas: análisis del espectro de emisión del iluminante para dos medidas.

Para realizar medidas cuantitativas con un espectroradiómetro, con valores de transmitancia espectral absolutos, es necesario disponer de un instrumento calibrado recientemente. En nuestro caso, el instrumento de que disponíamos fue calibrado hace más de cinco años, por lo que las medidas realizadas se pueden evaluar de manera cualitativa, y comparar entre ellas, pero no es posible obtener medidas absolutas.

Para asegurar el buen funcionamiento del instrumento se realizaron pruebas previas, como por ejemplo, medir la radiancia espectral de la fuente de luz en distintos momentos del proceso de medida de varias muestras, y también en días distintos.

En esta memoria mostramos los resultados obtenidos de la medida para dos días distintos.

La primera medida (medida 1) se tomó el día en el que se hicieron las pruebas para el diseño del sistema de medida una vez éste ya estaba diseñado. La segunda medida (medida 2), el primer día en el que se empezaron a tomar resultados de los filtros terapéuticos. En la figura 27, comparativa entre el espectro de emisión de la medida 1 y la medida 2, tomadas en días distintos sin variar las condiciones.

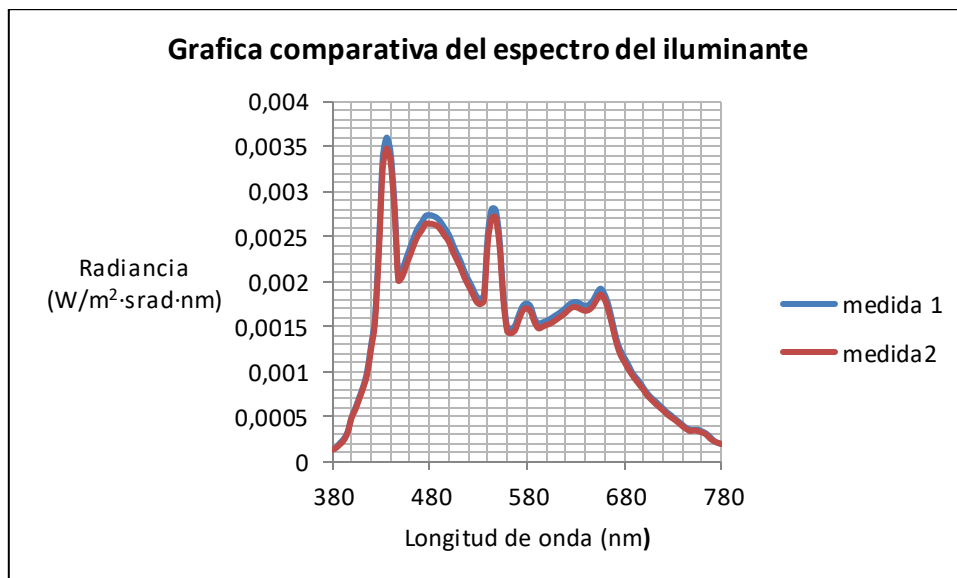


Figura 27. Representación gráfica comparativa del espectro de emisión del iluminante, utilizado en éste trabajo, tomada en dos días distintos.

En la figura 27, podemos apreciar que la coincidencia de las curvas del espectro de emisión obtiene resultados muy coincidentes a lo largo de todo el intervalo con diferencias máximas de un 1.8%. Esta medida nos permite estimar el margen de error que tendremos en las medidas de radiancia espectral para las distintas muestras a valorar.

7.1.2 Repetitividad de las muestras: análisis de filtros con igual referencia de dos muestras distintas

En esta experiencia hemos valorado la repetitividad de las medidas de una misma muestra. Dado que para una misma referencia en ocasiones había más de una muestra.

En todos los casos se ha añadido en el ángulo inferior derecho una fotografía de las dos muestras. Estas fotos (y todas las que se pueden observar en el trabajo), fueron tomadas con la misma cámara fotográfica y con la misma iluminación en el laboratorio, pero al utilizar el modo automático de disparo pueden aparecer diferencias en las imágenes de las muestras.

En la figura 28 se muestran los resultados obtenidos para dos referencias de filtros cromáticos, el 450 y el 527 ambos de la casa Recoletos.

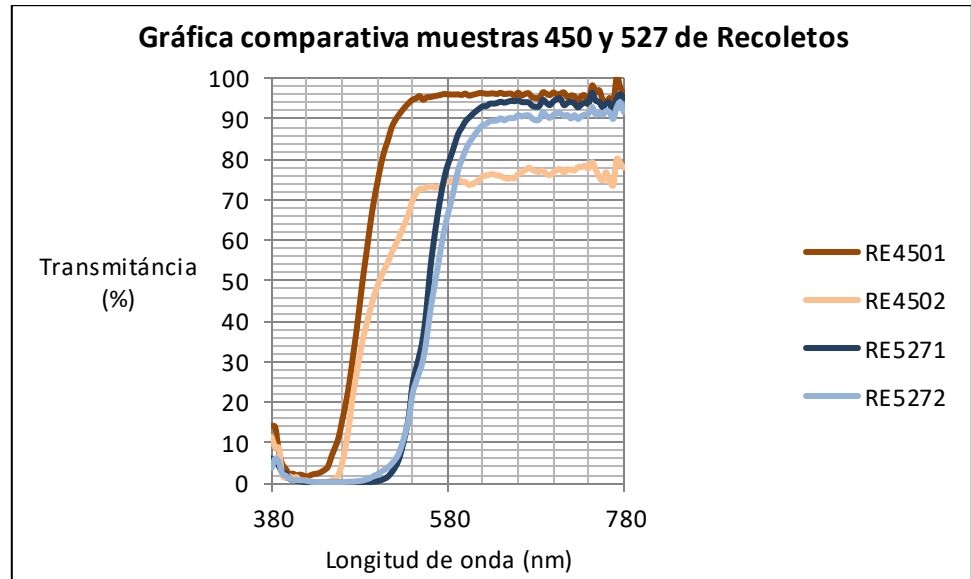


Figura 28. Representación gráfica comparativa de la repetitividad de filtros con igual referencia de dos muestras distintas, con dos filtros de diferente referencia de la casa Recoletos. El color anaranjado corresponde al filtro 450 (el más saturado a la muestra 1 y el menos saturado a la muestra 2). El color azul corresponde al filtro 527 (el más saturado a la muestra 1 y el menos saturado a la muestra 2).

Fijándonos en la figura 28, podemos ver que en el caso del filtro 450, las diferencias que se observan en la zona C son realmente muy significativas, obteniendo una transmitancia cercana al 95 % para la muestra 1 y del 75% para la muestra 2. A diferencia del filtro 527, donde las gráficas son muy parecidas; obteniendo para la muestra 1 un valor del orden del 3% superior de transmitancia en la zona C respecto a la muestra dos. Se han escogido estas muestras como ejemplos extremos del comportamiento de las muestras evaluadas en las condiciones descritas.

La mayoría de casos, permiten observar una gran similitud entre los resultados obtenidos al medir la transmitancia de filtros pertenecientes a una misma referencia de una determinada casa comercial. Por ejemplo, la figura 29 muestra un caso similar con filtros de la casa Essilor.

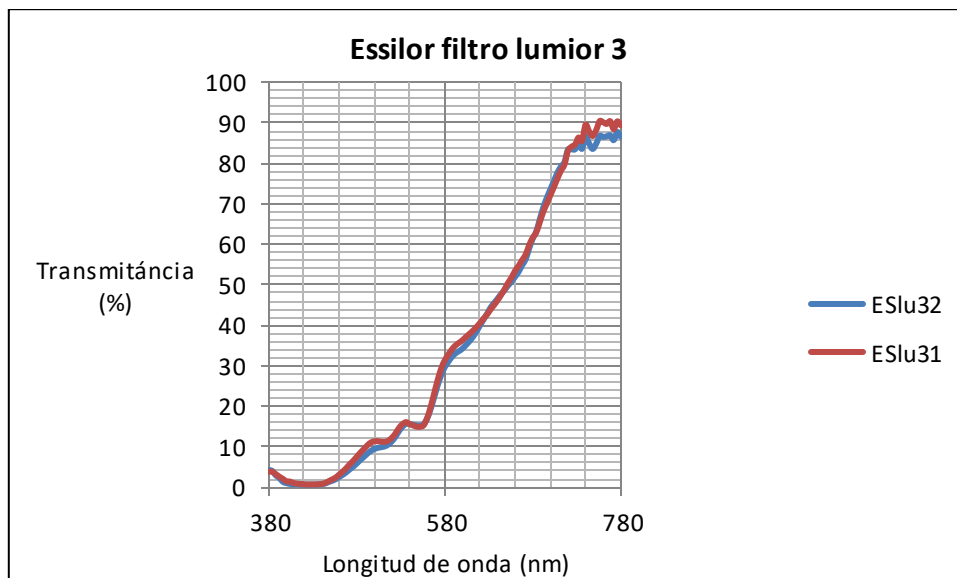


Figura 29. Representación gráfica comparativa de la repetitividad de filtros con igual referencia de dos muestras distintas de la casa Essilor

En la figura 29 podemos ver que en las muestras analizadas la coincidencia de la transmitancia es muy elevada o total en todas las zonas de la gráfica. Fijándonos en el análisis de los resultados, observamos que los rangos de diferencia en la transmitancia van del 0% hasta el 20%.

Aunque para el resto de las muestras que se encuentran en el Anexo 3 (figuras A.17, A.19, A.21, A.45, A.46, A.47, A.67, A.69, A.71 y A. 74), la diferencia máxima que se encuentra a lo largo de toda la curva de transmitancia es del 8 % entre las muestras. A excepción de la muestra de Essilor, figura A.37, que muestra una diferencia máxima superior al 50%, pero que al ser un caso aislado podríamos no contabilizarlo.

Teniendo en cuenta que todas la muestras analizadas son de potencia de graduación neutra y fabricadas en orgánico. El origen de éstas diferencias puede ser debido a: un método de fabricación no estandarizado dependiente de la experiencia del técnico de coloración, la pérdida de constancia en las condiciones de coloreado (la iluminación, el número de lentes que ha coloreado un tinte y que haría variar la concentración de pigmento en la disolución o tiempo de tinción) o de la variabilidad del envejecimiento de la masa de fabricación de las lentes (que podría producir absorciones distintas de los tintes).

7.1.3 Reproducción de un filtro comercial: análisis de un filtro coloreado en una óptica independiente

En éste análisis tenemos dos muestras, una de ellas es la ofrecida por el fabricante y la otra coloreada por el técnico en coloración de Òptica Clara (se trata de una óptica independiente situada en Olot, Girona).

Se utilizó como muestra para la coloración la ofrecida por el fabricante (que es la misma que se ha utilizado en éste análisis). La técnica que se utilizó para la coloración es por inmersión.

En este ejemplo se quiere poner de manifiesto la dificultad de reproducir un mismo filtro cromático usando la simple comparación visual en el proceso de tintado. Cabe mencionar que para la muestra que se ha querido reproducir, se desconoce el material, la concentración empleada en la coloración y la iluminación ambiente del lugar donde se realiza el proceso.

Todas estas variables afectan substancialmente el resultado final obtenido.

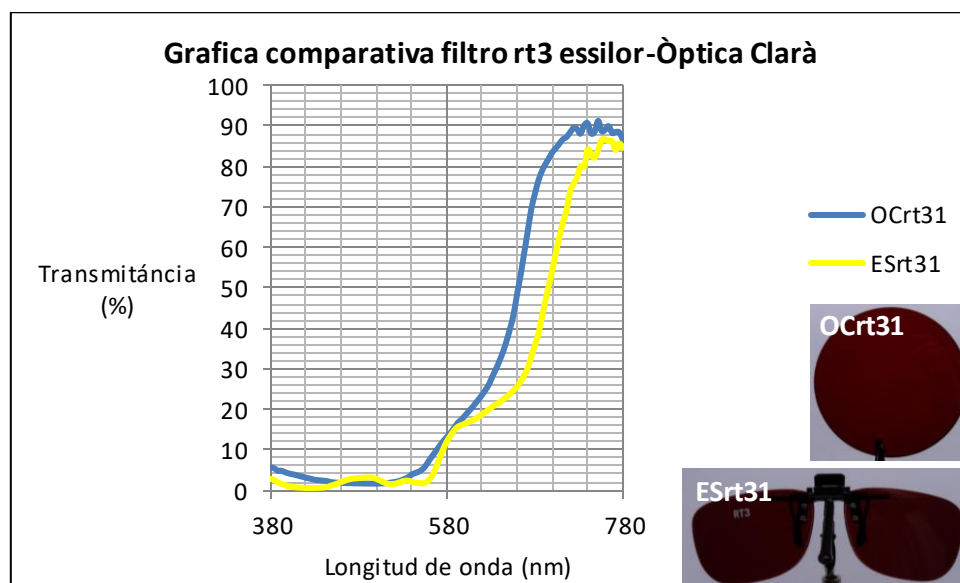


Figura 30. Representación gráfica comparativa del filtro rt3 de Essilor. Las dos muestras son de potencia de graduación neutra y mismo material. En amarillo la muestra aportada por el fabricante y en azul la muestra coloreada por Òptica Clarà.

Los valores de las gráficas obtenidas que se ven en la figura 30, son coincidentes hasta los 600nm(a excepción de alguna oscilación de la muestra aportada por la casa comercial). En este punto, aparece una diferencia más o menos constante de un 16% de transmitancia más en la muestra de coloración propia respecto a la ofrecida por el fabricante.

Las diferencias observadas, se pueden explicar por diversos factores:

- La lente de muestra con que se hizo la reproducción no es la misma en los dos casos.
- Las condiciones de iluminación durante la coloración del fabricante no son conocidas, por lo que no se ha podido mantener ésta variable constante durante la reproducción del filtro en la óptica. Por lo tanto, se puede dar el efecto del metamerismo ("dos colores son metámeros cuando

poseyendo diferentes distribuciones espectrales producen, bajo ciertas condiciones, la misma sensación de color" (32)).

- Las concentraciones de colorante en las cubetas de coloración pueden ser distintas por lo que el coloreado puede ser distinto.

7.1.4 Influencia de la potencia: análisis de filtros con igual referencia y distinta potencia de graduación

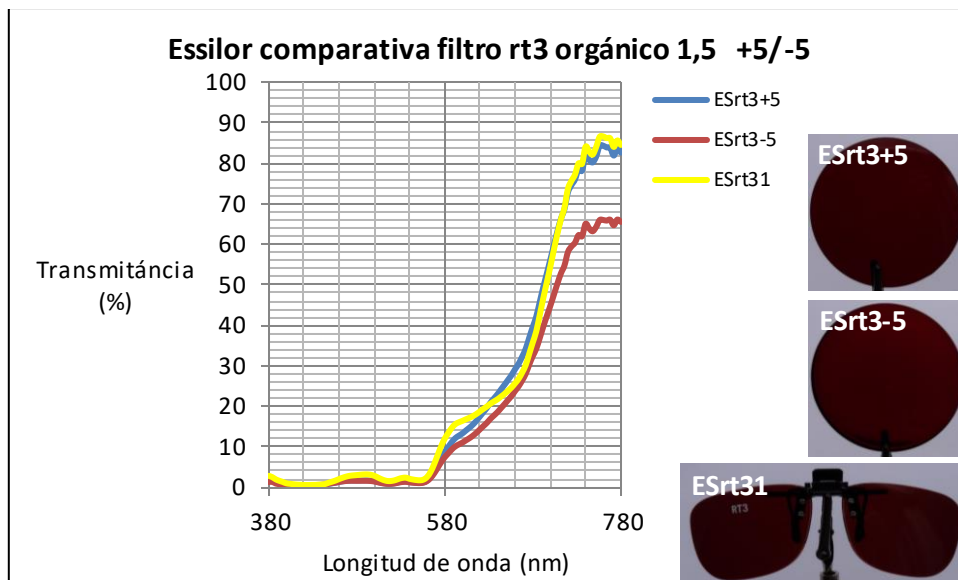


Figura 31. Representación gráfica comparativa del filtro rt3 de Essilor. Las tres muestras están fabricadas en material 1.5 pero varía la graduación. En azul potencia de graduación de +5.00 dioptrías, en rojo potencia de graduación de -5.00 dioptrías y en amarillo potencia de graduación neutra.

Analizando la figura 31, podemos ver que hasta los 700nm las tres gráficas, son muy parecidas entre ellas. Tanto la zona A cómo la longitud de corte son muy coincidentes.

En la zona C, se pierde la coincidencia a partir de los 700nm dónde la muestra en orgánico 1.5 y potencia de graduación de -5.00 dioptrías obtiene un 16% menos de transmitancia respecto a las otras dos muestras que obtienen un valor de transmitancia próximo al 85%.

Las diferencias observadas no permiten relacionarlas con la potencia de las muestras directamente. Si la graduación de estos filtros fuera el causante de estas diferencias, creemos que se deberían presentar a lo largo de todo el espectro visible en mayor o menor medida, pero no concentrados en las longitudes de onda mayores.

Por otro lado, un factor que podría producir el efecto observado anteriormente, podría ser la antigüedad de la fabricación de las lentes a colorear, es decir, el tiempo que hace que la lente está fabricada. Durante la visita a la fábrica de Naturlens, se pudo observar la gran cantidad de

stock que se debe tener. Esto puede producir que una lente permanezca en el stock durante mucho tiempo antes de ser colorearla y por lo tanto que las características de absorción del pigmento difieran de una lente que se acabe de fabricar.

El resultado obtenido en este experimento nos conduce a tomar la decisión de analizar y comparar muestras de filtros cromáticos únicamente en muestras neutras, sin graduación. De esta manera podremos asegurar que las diferencias en la transmitancia espectral de los filtros, serán principalmente debidas a su coloración, y no a otros factores.

7.1.5 Influencia del índice de refracción: Análisis de filtros con igual referencia y distinto material

En este apartado hemos incluido el análisis de muestras de una misma coloración del filtro cromático, realizada sobre materiales orgánicos de índice de refracción distinto.

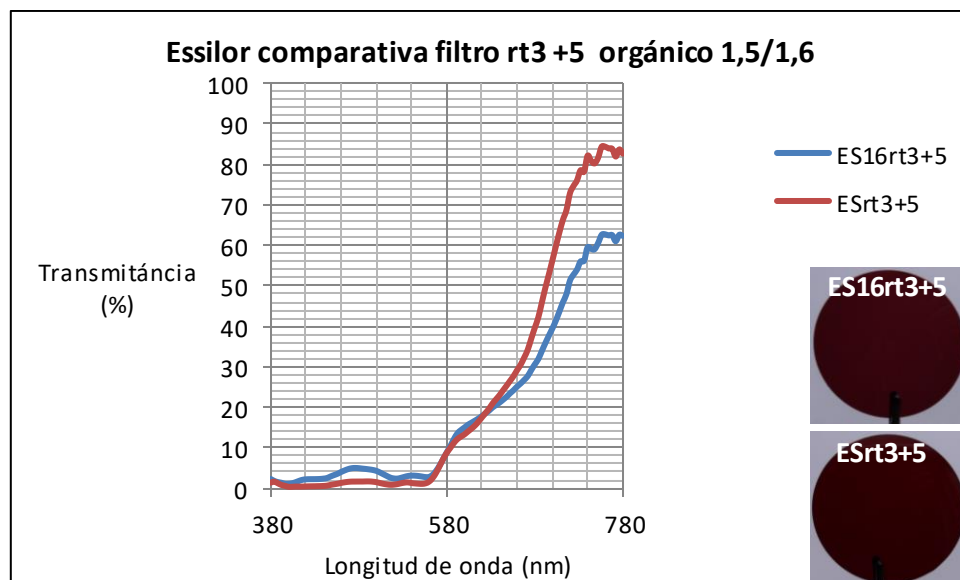


Figura 32. Representación gráfica comparativa del filtro rt3 de Essilor. Las dos muestras tienen la misma potencia de graduación fabricadas en material orgánico pero con la variación del índice de refracción. En azul, la muestra con índice de refracción 1.6 y en rojo con índice de refracción 1.5.

Si analizamos la figura 32, podemos ver que, aunque en la zona A la muestra en índice 1.6 (azul) obtenga una transmitancia ligeramente superior, la coincidencia entre las dos muestras es alta hasta los 620nm. En este punto, la similitud de las gráficas va disminuyendo progresivamente hasta los 780nm. En este punto, el valor de transmitancia de la muestra con índice 1.5 es de un 84 % y con el índice 1.6 es de un 62%.

Este hecho lo podríamos explicar debido a que la absorción del material con índice de refracción 1.5 y del 1.6 podrían ser distintas en ciertas

longitudes de onda. Absorber más pigmento de un color u otro afectaría a la curva de transmitancia aunque los dos filtros se perciban aparentemente iguales.

Los resultados obtenidos en éste apartado nos llevan a tomar la decisión de comparar muestras de filtros cromáticos siempre sobre el mismo material orgánico de índice 1.5. Solo consideraremos muestras de material distinto en el caso de los filtros Corning, que se realizan siempre sobre sustrato mineral.

7.2 Análisis de los filtros terapéuticos de igual longitud de onda de corte

En este análisis se hace una comparativa de los filtros terapéuticos de los distintos fabricantes que tienen el mismo punto de corte. Todos son de potencia de graduación neutra y fabricadas en orgánico 1.5.

En todas las comparativas, aparece en color negro la gráfica del filtro ideal para así tener una referencia única para todas las gráficas. En los casos en que para un mismo fabricante y un mismo filtro había dos muestras se elegía siempre la que mejor resultado proporcionaba (es decir, la curva que mejor se acercaba al filtro ideal).

En el Anexo 3 se recogen todas las curvas experimentales obtenidas, siendo posible apreciar cuál de ellas se ha seleccionado en cada caso.

En el caso de los filtros fotocromáticos se utiliza, en este análisis de comparación de la longitud de onda de corte, la gráfica del fotocromático desactivado.

En el caso de disponer de varias medidas de una misma muestra (ver apartado 7.1.2), se representa en las gráficas el resultado obtenido más próximo al filtro ideal.

7.2.1 Análisis de los filtros de longitud de onda de corte 400 nm

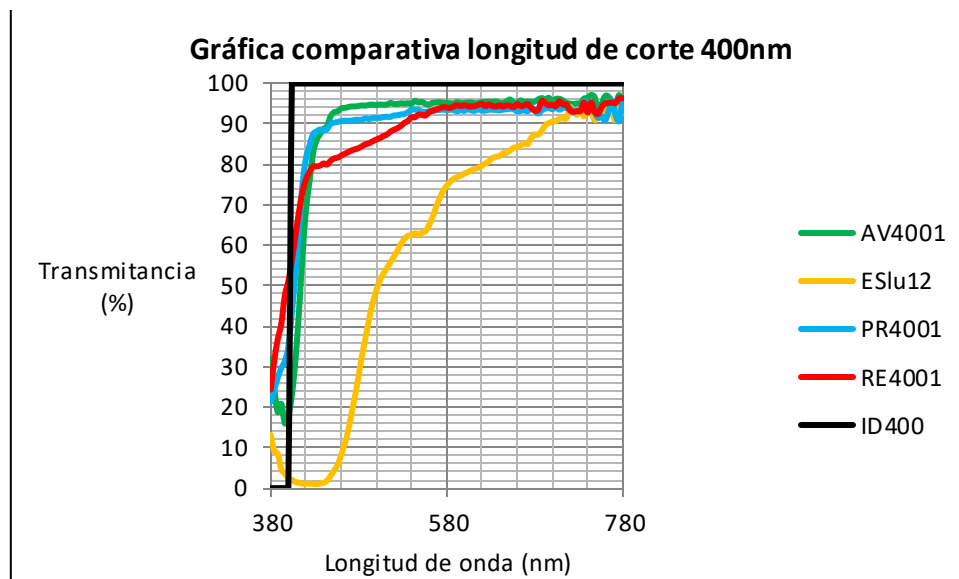


Figura 33. Representación gráfica comparativa para las muestras de distinto fabricante con igual longitud de onda de corte de 400 nm.

En el análisis de los filtros de longitud de corte de 400nm nos encontramos con cuatro proveedores, AVS baja visión, Essilor, Prats y Recoletos.

De la figura 33 se puede observar que la longitud de corte se cumple para las muestras de Recoletos, Prats y AVS; excepto en Essilor que se va más allá de los 430 nm.

En la zona A, vemos que no se pueden interpretar porque se trata de una zona donde la energía del iluminante es baja y afecta el ruido del instrumento.

En la zona B, el resultado obtenido con la muestra de Prats y AVS es parecido. Para éstos la transición es muy rápida y vertical y ocupa aproximadamente unos 45nm. En el caso de Recoletos, ocupa el correspondiente a 130nm, ya que no lo hace de manera uniforme. Para la muestra de Essilor ésta zona de transición es en cambio muy suave y ocupa el correspondiente a 250nm.

En la zona C, la transmitancia para las muestras de AVS, Prats y Recoletos está claramente por encima del 90% de transmisión. Aunque la muestra de AVS proporciona una transmitancia ligeramente superior. Para la muestra de Essilor, la transmitancia supera el 50% de la luz recibida a partir de 440nm y para longitudes de onda mayores que este valor. Pero observamos que la transmitancia no es uniforme en el visible. Como hemos mencionado anteriormente, esta muestra proporciona un resultado poco fiable, y sería necesario disponer de una nueva muestra para poder compararla adecuadamente con los demás filtros de las mismas características.

En este caso, los filtros de la casa Prats y AVS se acercan de forma muy parecida al comportamiento esperado para un filtro pasa-altas con longitud de onda de corte en 400nm.

7.2.2 Análisis de los filtros de longitud de onda de corte 450 nm

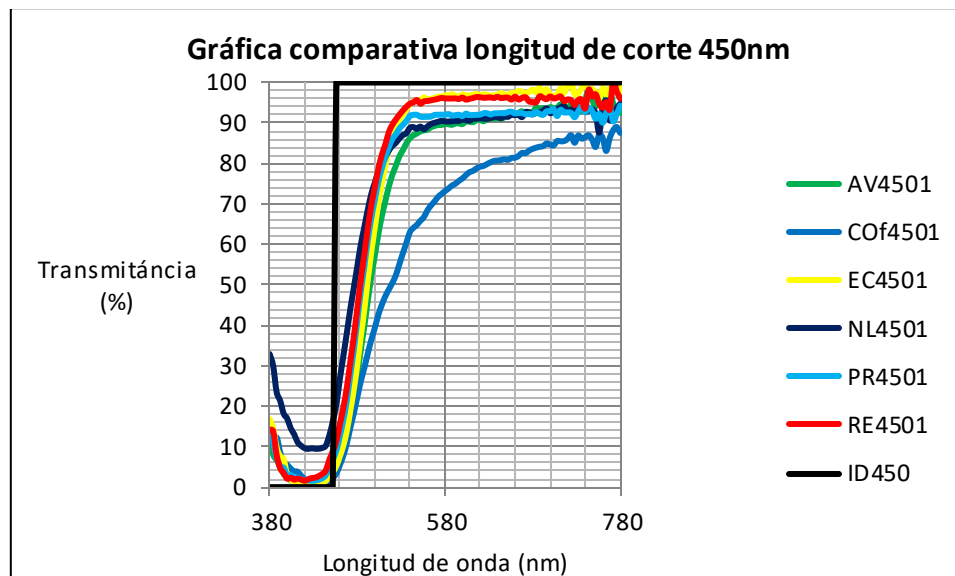


Figura 34. Representación gráfica comparativa para las muestras de distinto fabricante con igual longitud de onda de corte de 450 nm.

En el análisis de los filtros de longitud de corte de 450nm nos encontramos con seis proveedores, AVS baja visión, Corning, Eschenbach, Naturlens, Prats y Recoletos.

De la figura 34 vemos que la longitud de onda de corte se cumple en todas las muestras a excepción de Naturlens ya que la gráfica en ningún momento se acerca al 1% de transmisión.

En la zona A vemos que todas las muestras tienen una transmitancia muy baja por debajo de la longitud de onda de corte (450nm), a excepción de la muestra de Naturlens cuya transmitancia está alrededor de un 10%.

En la zona B obtienen una transición rápida, ocupando alrededor de 40nm de la gráfica, excepto en el caso de Corning, donde ésta utiliza el correspondiente a 240nm.

En la zona C, destacan las muestras de Recoletos y Eschenbach que se acercan al 95% de transmisión en la mayor parte de la zona, si bien, para el resto de las muestras, este valor también supera el 90%.

La muestra de la casa Corning es la que tiene una transición más suave, con una transmitancia menor en todo el rango del espectro por encima de 450nm, esto podría ser debido al efecto del material de fabricación (mineral fotocromático), ya que es el único filtro que obtiene este comportamiento.

En éste caso los filtros que mejor se acercan al filtro ideal son los Recoletos y Eschenbach. Aunque podemos observar que la proximidad de las gráficas entre ellas es elevada, con diferencias de la transmitancia máximas del orden del 5%.

7.2.3 Análisis de los filtros de longitud de onda de corte 500 nm

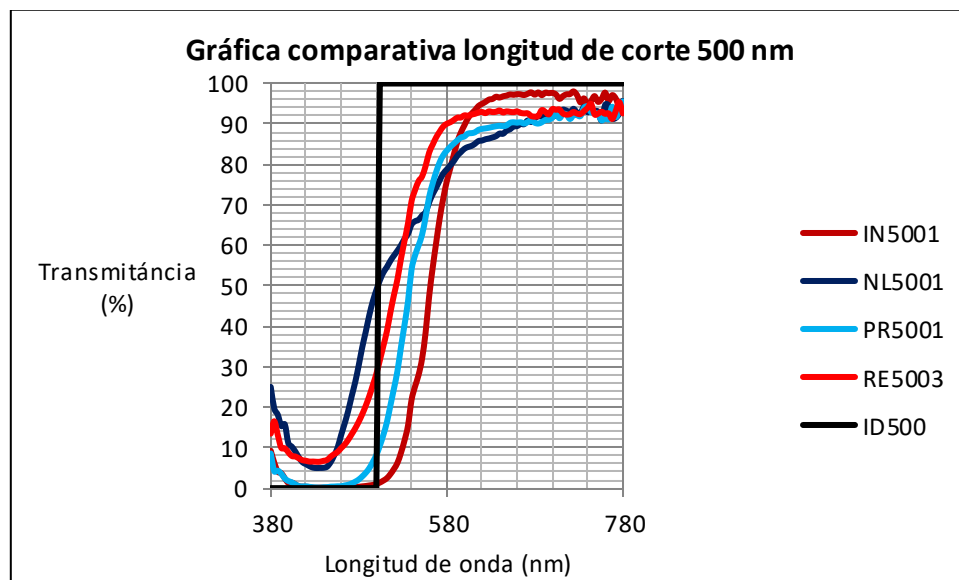


Figura 35. Representación gráfica comparativa para las muestras de distinto fabricante con igual longitud de onda de corte de 500 nm.

En el análisis de los filtros de longitud de onda de corte de 500nm, si observamos la figura 35, nos encontramos con cuatro proveedores, INDO, Naturlens, Prats y Recoletos.

La longitud de onda de corte solo se cumple en el caso de INDO y Prats, aunque éste último se sitúa sobre los 480nm. No la cumplen las muestras de Naturlens y Recoletos.

En la Zona A, las muestras de Prats e INDO obtienen valores parecidos y muy bajos de transmitancia, a diferencia de Naturlens y Recoletos obteniendo valores que se sitúan por encima del 4%

Para la zona B, la muestra que mejor resultado obtiene es la muestra de INDO que utiliza el correspondiente a 120nm. Para las muestras de Recoletos y Prats es ligeramente superior y se alarga hasta los 140nm. En el caso, de Naturlens la transición es suave y ocupa el equivalente a 240nm. En la Zona C, destaca con un valor de transmitancia superior al 95% INDO. Para Recoletos, la gráfica mantiene la horizontalidad y el valor de transmitancia es superior al 90%. Éste valor es igual para Naturlens y Prats pero la gráfica muestra un cierto grado de inclinación.

En este caso, INDO obtiene el resultado más parecido posible al comportamiento teórico de un filtro cromático terapéutico

7.2.4 Análisis de los filtros de longitud de onda de corte 511 nm

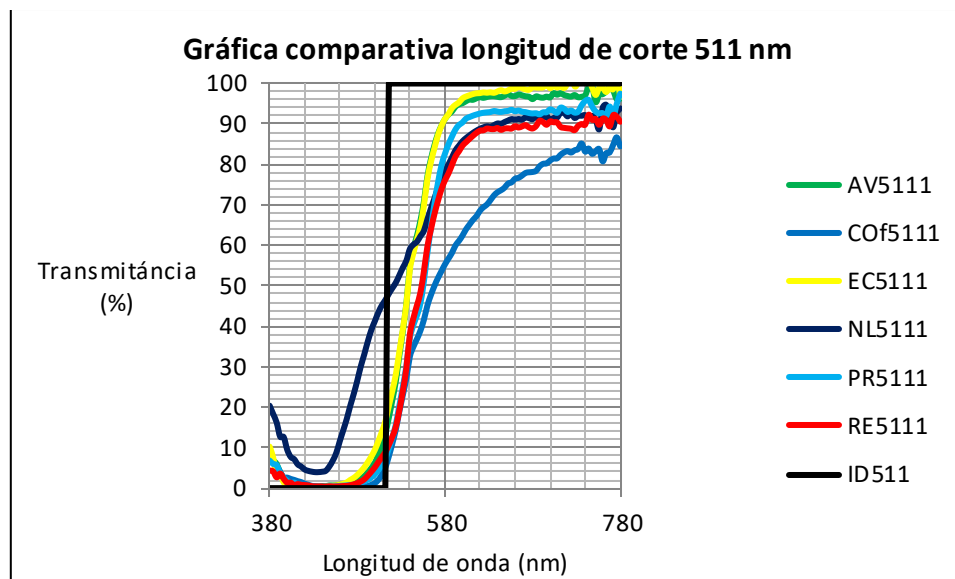


Figura 36. Representación gráfica comparativa para las muestras de distinto fabricante con igual longitud de onda de corte de 511 nm.

En el análisis de los filtros de longitud de corte de 511 nm, nos encontramos con seis proveedores, AVS baja visión, Corning, Eschenbach, Naturlens, Prats y Recoletos.

En la figura 36, observamos que se obtienen unas curvas de transmitancia ligeramente más dispares que en los casos anteriores.

El punto de corte de todos los filtros coincide de manera aproximada con los 511 nm, si bien la muestra de Naturlens realiza el corte en una longitud de onda significativamente menor, a 460 nm aproximadamente.

En la zona A de menor transmitancia, excepto la muestra de Naturlens, todas las muestras bloquean de forma efectiva la radiación con valores de transmitancia muy bajos. En la zona B de transición, de nuevo la muestra de Naturlens y la de Corning presentan una transición más suave, mientras que el resto de muestras son más coincidentes. En la zona C de la gráfica, de mayor transmitancia, todas las muestras consiguen valores cercanos o superiores al 90% excepto el filtro de Corning (se podría producir por la propia naturaleza del material de fabricación, el mineral fotocromático). Destacan las muestras de Eschenbach y AVS por su alta transmitancia.

7.2.5 Análisis de los filtros de longitud de onda de corte 527 nm

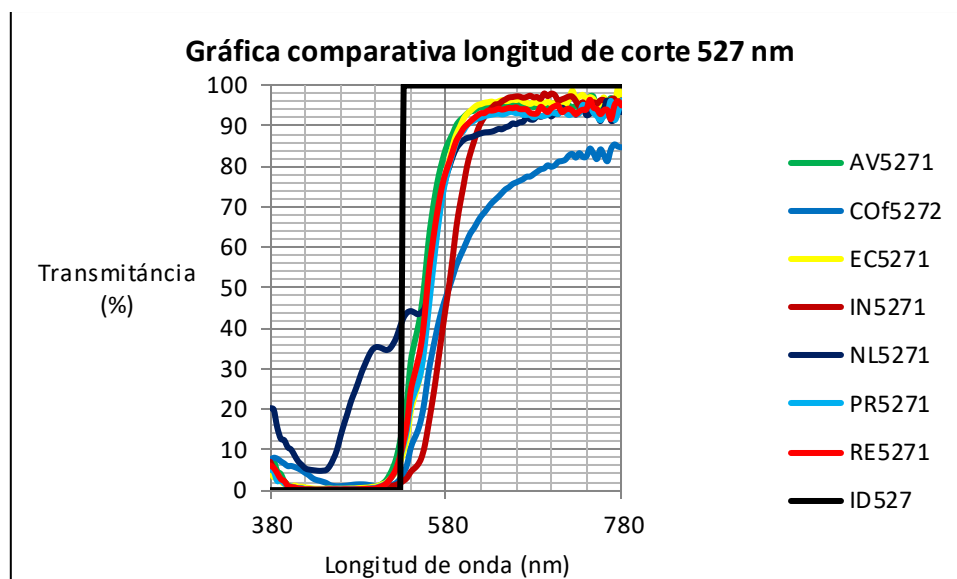


Figura 37. Representación gráfica comparativa para las muestras de distinto fabricante con igual longitud de onda de corte de 527 nm

En el análisis de los filtros de longitud de corte de 527nm nos encontramos con siete proveedores, AVS baja visión, Corning, Eschenbach, INDO Naturlens, Prats y Recoletos.

El punto de corte obtiene un resultado muy próximo para todas las muestras, y cercano a los 527nm. Naturlens es la casa que proporciona un resultado más alejado de este valor.

Todas las muestras, excepto Naturlens, tienen una transmitancia muy baja por debajo de la longitud de onda de corte (zona A), mientras que consiguen transmitancias altas por encima de 580-600nm (por encima del 90%). La casa Corning es la que más se aleja de este comportamiento, siendo su transmitancia máxima del 85% (como en los dos análisis anteriores de trata de la muestra en mineral fotocromático). En los valores extremos del espectro visible se cumple en todas las muestras, además el resultado es muy próximo entre ellos; a excepción de Naturlens.

En este caso, las muestras que mejor se acercan al filtro teórico son AVS baja visión, Eschenbach, Prats y Recoletos.

7.2.6 Análisis de los filtros de longitud de onda de corte 550 nm

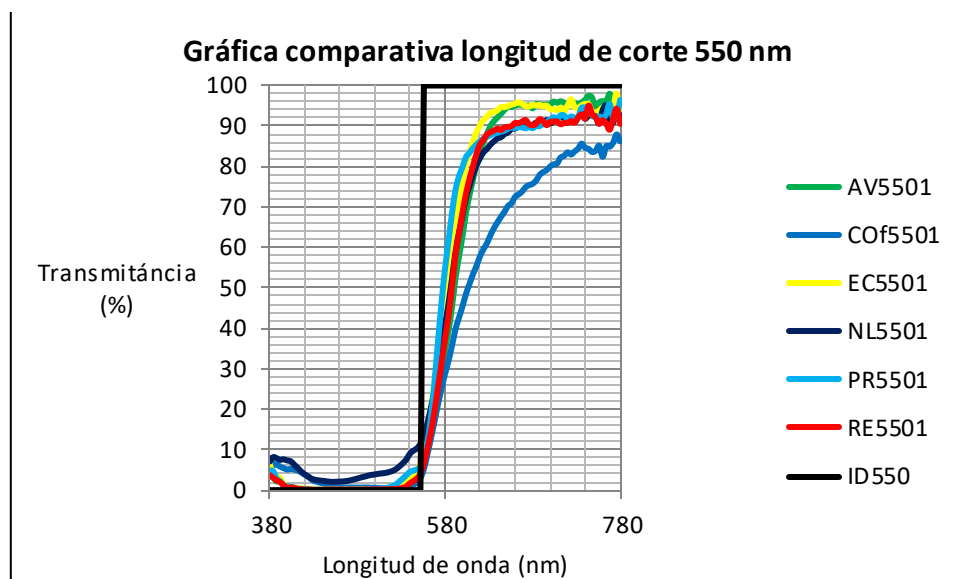


Figura 38. Representación gráfica comparativa para las muestras de distinto fabricante con igual longitud de onda de corte de 550 nm.

En el análisis de los filtros de longitud de corte de 550 nm nos encontramos con seis muestras de los siguientes proveedores, AVS baja visión, Corning, Eschenbach, Naturlens, Prats y Recoletos.

Los resultados proporcionados por estas muestras son muy coincidentes en comportamiento en todo el espectro visible analizado. Sin embargo, podemos destacar una transición más lenta y una transmitancia menor en la parte superior del espectro para la muestra de Corning (se trata de un filtro mineral fotocromático, por lo tanto, éste comportamiento podría deberse a la naturaleza del material), ambos aspectos alejan esta muestra del comportamiento del filtro ideal esperado. Por otra parte, Naturlens destacaría por obtener una transmitancia más elevada por debajo de la longitud de onda de corte.

Destacan, por obtener un resultado global más próximo a la curva teórica, las muestras de Eschenbach y AVS baja visión.

7.2.7 Análisis de los filtros de longitud de onda de corte 560 nm

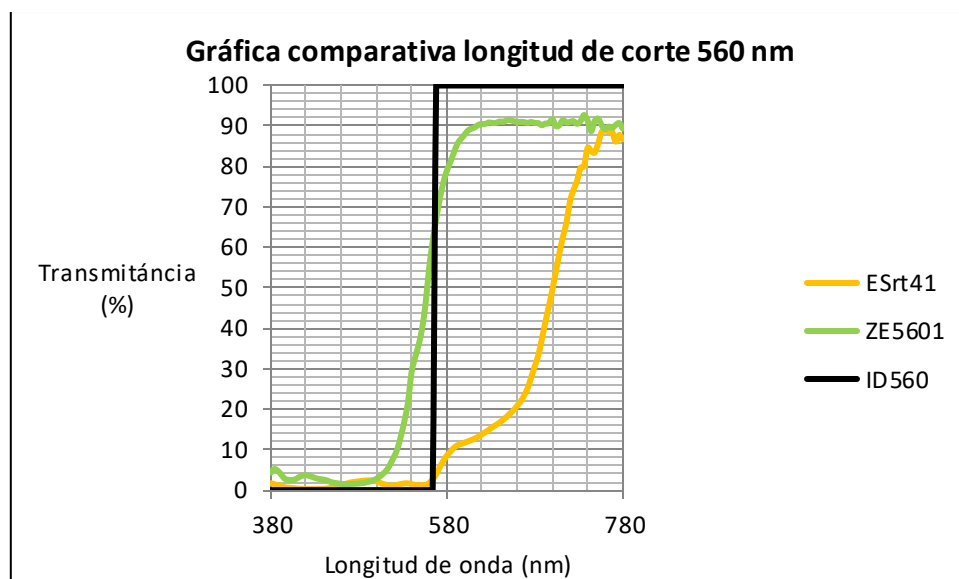


Figura 39. Representación gráfica comparativa para las muestras de distinto fabricante con igual longitud de onda de corte de 560 nm.

Solo dos muestras se comercializan como filtros cromáticos con longitud de onda de corte en 560nm. Corresponden a los proveedores Essilor y Zeiss.

En la figura 39, vemos que Zeiss consigue una transición más abrupta y una transmitancia en la parte alta del espectro mucho mayor, pero el punto de corte de esta muestra está muy por debajo de los 560nm (en concreto 500nm).

Por su lado, la muestra de Essilor, respeta mejor el punto de corte, tienen una transmisión menor en la parte baja del espectro, pero obtiene una transición suave que hace que la transmitancia llegue escasamente al 90% a partir de 740nm.

7.2.8 Análisis de los filtros de longitud de onda de corte 585 nm

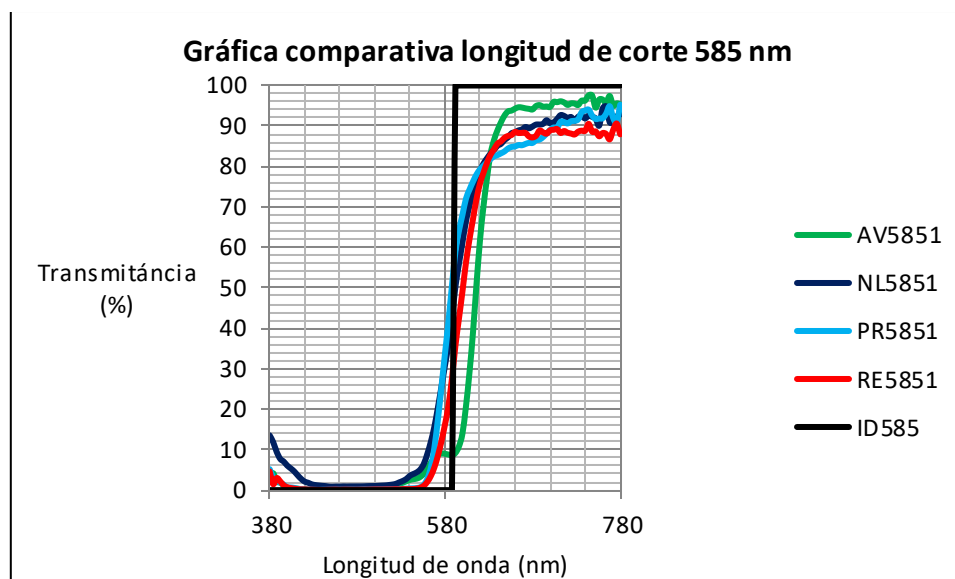


Figura 40. Representación gráfica comparativa para las muestras de distinto fabricante con igual longitud de onda de corte de 585 nm.

En el análisis de los filtros de longitud de corte de 585nm nos encontramos con cuatro muestras de los siguientes proveedores, AVS baja visión, Naturlens, Prats y Recoletos.

Si bien la longitud de onda de corte es muy cercana para todas las muestras, es la de la casa Recoletos que se acerca más a los 585nm especificados por el filtro cromático. Hay que destacar que todas las casas tienen un punto de corte ligeramente inferior a ese valor.

La zona B o zona de transición del filtro es bastante vertical en todas las muestras, aunque el filtro de AVS produce un doble escalón en esa transición. Es esta muestra que obtiene una mayor transmitancia por encima de la longitud de onda de corte, si bien todas las muestras tienen buenos resultados en la zona denominada como C de la gráfica.

En este caso, la muestra que mejor se acerca al filtro ideal es la de Recoletos.

7.2.9 Análisis de los filtros C1

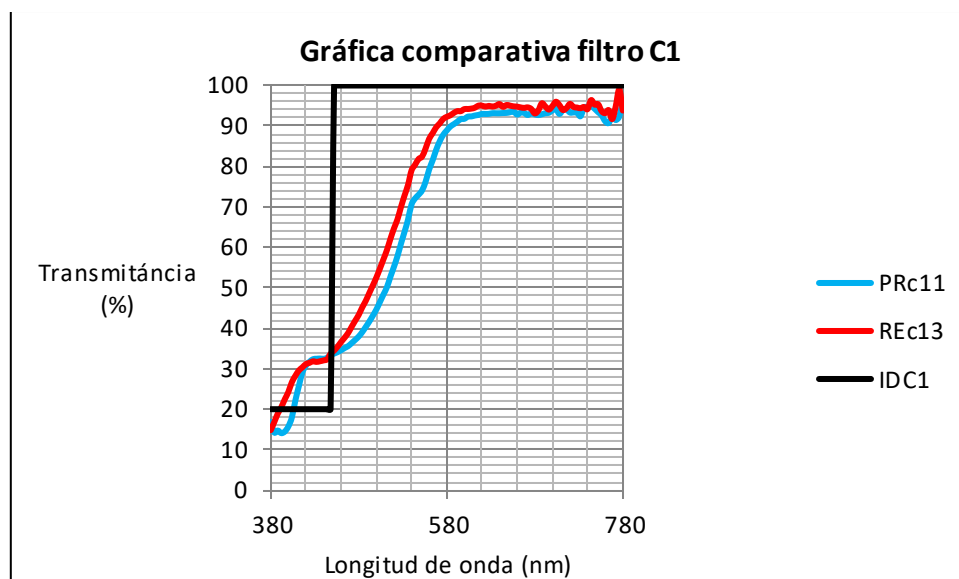


Figura 41. Representación gráfica comparativa para la muestras de distinto fabricante del filtro C1.

Se puede ver en la figura 41 que las características de éste filtro son distintas de los filtros anteriormente analizados, ya que la transmitancia es del 20% en la zona de los azules cuando en el resto de muestras una de las características es que todos cortan, en mayor o menor medida, esta zona del espectro visible. Está indicado cómo filtro para la conducción en pseudo-afáquicos y post cirugía refractiva (33).

En el análisis de los filtros C1 nos encontramos con dos muestras de los siguientes proveedores Prats y Recoletos.

Las dos gráficas analizadas muestran un comportamiento muy similar y es difícil señalar una de ellas como mejor que la otra.

En este tipo de filtro, la transmitancia de las longitudes de onda cortas (azul) está entre el 20-30%, mientras que en las longitudes de onda largas (rojos) supera el 90-95%.

La transición entre estas dos zonas es suave y ocupa aproximadamente unos 120nm.

Para hacer una idea global de los resultados analizados, vemos a continuación 4 tablas (figura 42, figura 43, figura 44 y figura 45) resumen de las zonas analizadas (A, B y C) y de la longitud de onda de corte.

ZONA A									
	Longitud de onda de corte (nm)								
		400	450	500	511	527	550	560	585
Transmitancia máxima (%)	<5%							ESSILOR	AVS PRATS RECOLETOS
	5%-10%	ESSILOR	AVS CORNING ESCHENBACH PRATS RECOLETOS	PRATS INDO	AVS CORNING ESCHENBACH PRATS RECOLETOS	AVS CORNING ESCHENBACH INDO PRATS RECOLETOS	AVS CORNING ESCHENBACH NATURLENS PRATS RECOLETOS	ZEISS	
	10% - 20%								NATURLENS
	15%-20%		NATURLENS	RECOLETOS					
	20%-25%	AVS PRATS RECOLETOS		NATURLENS	NATURLENS	NATURLENS			
	>25%								

Figura 42. Tabla resumen de la zona A de los filtros analizados. En el eje horizontal el tipo de filtro y en vertical la transmitancia máxima que se ha observado. Para ésta zona se han descartado los resultados que se han próximos a 380nm. ya que el ruido del espectroradiómetro ofrece valores mayores de transmitancia .

ZONA B									
	Longitud de onda de corte (nm)								
		400	450	500	511	527	550	560	585
Ancho de zona (nm)	< 40	AVS PRATS							
	40-80		AVS ESCHENBACH NATURLENS PRATS RECOLETOS			AVS ESCHENBACH INDO PRATS RECOLETOS	AVS ESCHENBACH PRATS RECOLETOS		AVS NATURLENS PRATS RECOLETOS
	80-120	RECOLETOS		RECOLETOS PRATS INDO	AVS ESCHENBACH PRATS RECOLETOS			ZEISS	
	> 120	ESSILOR	CORNING	NATURLENS	CORNING NATURLENS	CORNING NATURLENS	CORNING NATURLENS	ESSILOR	

Figura 43. Tabla resumen de la zona B de los filtros analizados. En el eje horizontal el tipo de filtro y en el eje vertical el espacio que ocupa la zona de transición.

ZONA C									
	Longitud de onda de corte (nm)								
		400	450	500	511	527	550	560	585
Transmitancia mínima (%)	>90%		ESCHENBACH PRATS RECOLETOS	INDO RECOLETOS	AVS ESCHENBACH PRATS	AVS ESCHENBACH INDO PRATS RECOLETOS	AVS ESCHENBACH	ZEISS	AVS
	85% - 90%	AVS ESSILOR PRATS RECOLETOS	AVS NATURLENS	PRATS	RECOLETOS NATURLENS	NATURLENS	NATURLENS PRATS RECOLETOS	ESSILOR	NATURLENS PRATS RECOLETOS
	80% - 85%			NATURLENS					
	< 80%		CORNING		CORNING	CORNING	CORNING		

Figura 44. Tabla resumen de la zona C de los filtros analizados. En el eje horizontal el tipo de filtro y en el eje vertical la transmitancia mínima que se ha observado.

LONGITUD DE ONDA DE CORTE									
	Longitud de onda de corte (nm)								
		400	450	500	511	527	550	560	585
Alejamiento de la longitud de onda de corte (nm)	0nm -10nm			INDO			PRATS	ESSILOR	
	10nm-20nm			PRATS		AVS	AVS		
						CORNING	CORNING		
						ESCHENBACH	ESCHENBACH		
						INDO	RECOLETOS		
						PRATS			
						RECOLETOS			
	20nm-30nm	ESSILOR	AVS		AVS				RECOLETOS
			CORNING		CORNING				
			ESCHENBACH		ESCHENBACH				
			PRATS		PRATS				
	> 30nm		RECOLETOS		RECOLETOS				
								ZEISS	AVS
	no cumple	AVS	NATUROLENS	RECOLETOS	NATUROLENS	NATUROLENS	NATUROLENS		NATUROLENS
		PRATS		NATUROLENS					PRATS
		RECOLETOS							

Figura 45. Tabla resumen del alejamiento de la longitud de onda de corte respecto al teórico. En el eje horizontal el tipo de filtro y en el eje vertical el intervalo en el que se encuentra el alejamiento de la longitud de onda de corte. En el indicativo no cumple, significa que en ningún punto se cumple la definición de longitud de onda de corte nombrada anteriormente.

7.3 Comparativa entre resultados e información de los fabricantes de filtros cromáticos terapéuticos.

De todos los proveedores de los cuales se obtuvieron muestras, en tres de ellos (AVS baja visión, Corning y Recoletos) se obtuvieron también las gráficas de transmitancia.

En la siguiente comparativa, hay que tener en cuenta que las condiciones de medida del fabricante no son conocidas. Por lo tanto, algunas diferencias se podrían explicar por ésta razón. En el caso de que se tuvieran dos muestras para el mismo filtro se optó por comparar la que mejor resultado obtenía (en el Anexo 3 se puede ver).

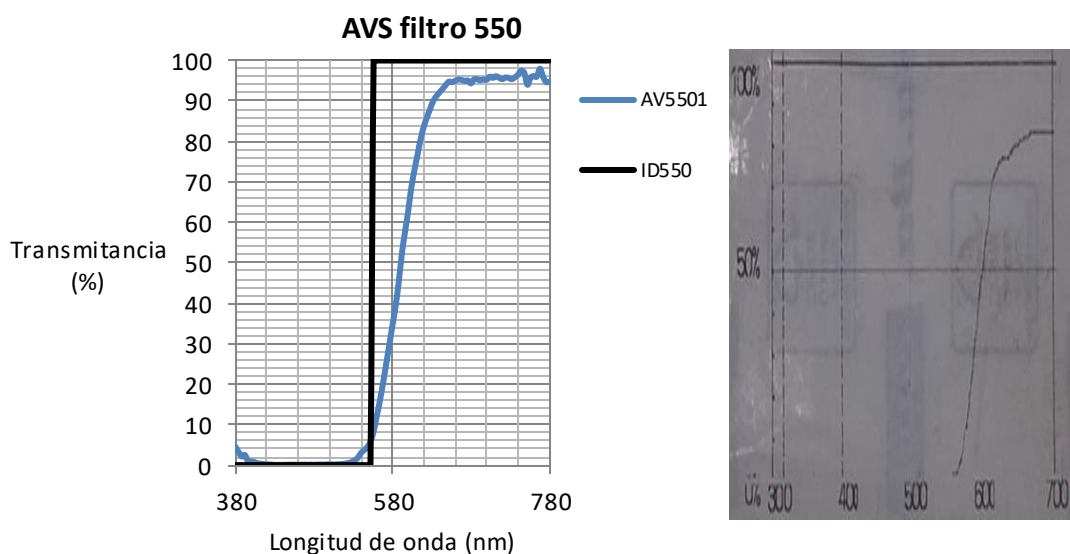


Figura 46. Gráficas de la transmitancia espectral del filtro AVS 550. En ambas, en el eje vertical esta la transmitancia y en el eje horizontal está la longitud de onda. La grafica de la izquierda corresponde al resultado del laboratorio y la de la derecha a la proporcionada por el fabricante.

Lo primero que podemos observar es que el rango de las longitudes de onda analizadas son distintas. Para las medidas en el laboratorio, el rango de longitud de onda va de 380nm hasta 780nm; mientras que para el fabricante va de 300nm hasta los 700nm. Por lo tanto, solo se comparará la zona que va de los 380nm hasta los 700nm.

En la zona A, los valores de transmitancia, son prácticamente iguales, con valores del 0%.

El punto de onda de corte, en el caso del fabricante, prácticamente no hay desviación respecto a los 550nm teóricos, a diferencia de los resultados obtenidos en el laboratorio, que se atrasan unos 15nm.

La pendiente de la transición es prácticamente igual en los dos casos.

En la zona C, los valores obtenidos en el laboratorio se acercan más al teórico que el resultado ofrecido por el proveedor con valores próximos al 95% de transmitancia, frente a valores del 85% de la casa comercial.

Si nos fijamos en el resto de datos ofrecidos por la casa AVS (Anexo 3.1), todos siguen el mismo patrón analizado anteriormente. Así podríamos decir, que los valores ofrecidos por AVS son parecidos a los obtenidos en el laboratorio.

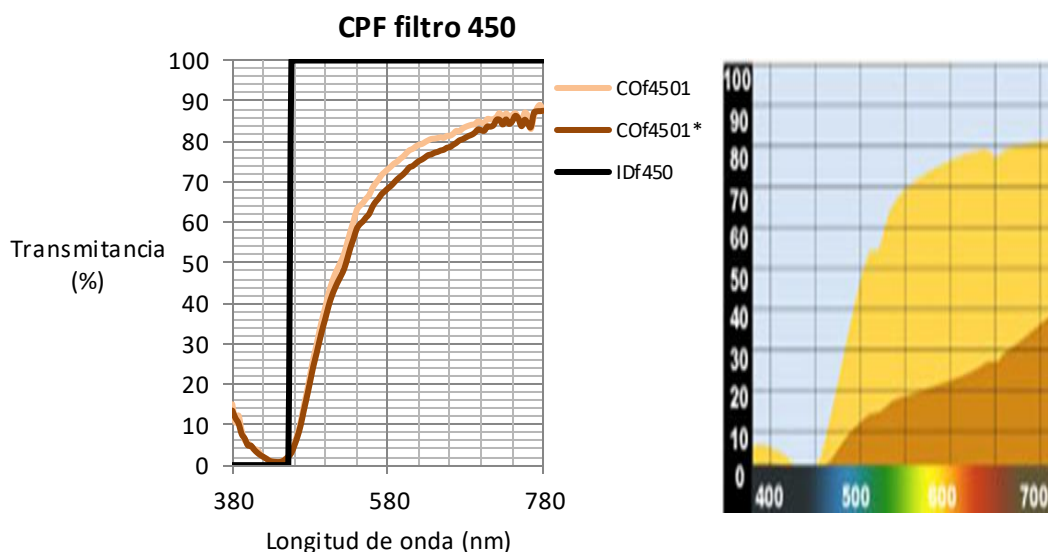


Figura 47. Graficas de la transmitancia espectral del filtro CPF 450. En ambas, en el eje vertical esta la transmitancia y en el eje horizontal está la longitud de onda. La grafica de la izquierda corresponde al resultado del laboratorio y la de la derecha a la proporcionada por el fabricante .

Cómo podemos observar en la figura 47, las gráficas ofrecidas por Corning son prácticamente iguales que los resultados obtenidos en el laboratorio. La diferencia más importante, la podemos encontrar cuando el fotocromático está activado; los valores de transmitancia obtenidos por el fabricante son del orden de un 40% inferiores a los obtenidos en el laboratorio. Éste hecho lo podríamos achacar a la fatiga del material. Es decir, tanto la velocidad como la intensidad en la activación y desactivación del fotocromático con el tiempo se va perdiendo así como a la

posible diferencia de metodología utilizada. Estas muestras se obtuvieron a través de la Unidad de Baja Visión de la FOOT por lo que la antigüedad de las muestras es desconocida. Esto provoca que las diferencias con el fotocromático activado en el resto de comparativas (Anexo 3.4) obtengan de media valores por encima del fabricante del 30% de transmitancia.

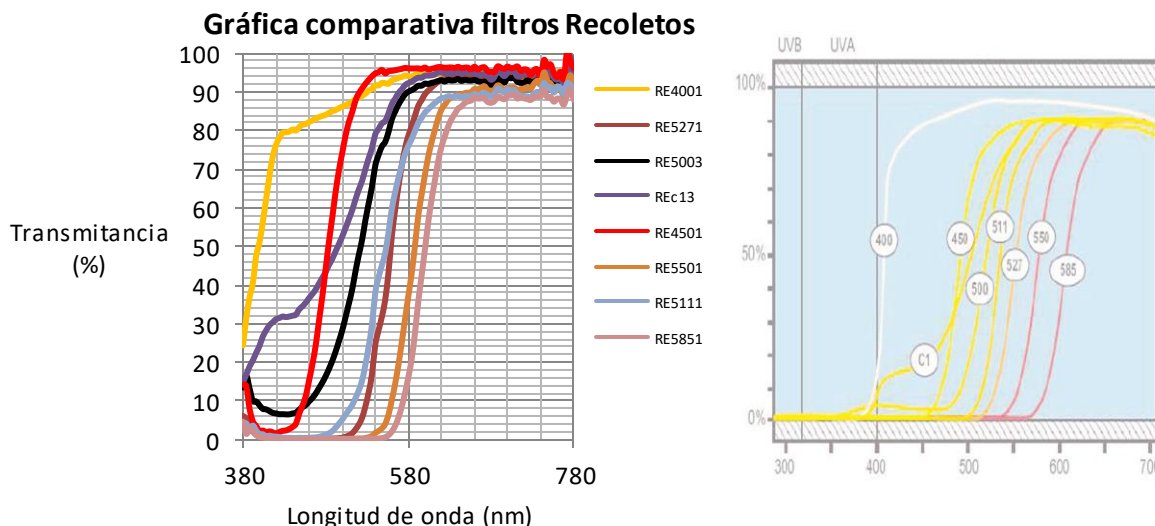


Figura 48. Gráficas de la transmitancia espectral de los filtros de Recoletos. En ambas, en el eje vertical esta la transmitancia y en el eje horizontal está la longitud de onda. La gráfica de la izquierda corresponde al resultado del laboratorio y la de la derecha a la proporcionada por el fabricante.

En este caso, y tal como se observa en la figura 48, la longitud de onda que podemos comparar va de los 380nm hasta los 700nm.

Los filtros terapéuticos 511, 527, 550 y el 585; ofrecen resultados muy coincidentes con el fabricante en todas las zonas.

Para el resto de muestras, no se cumple con la definición de la longitud de onda de corte (a excepción del filtro Multilens 400). En la zona A, los valores de transmitancia son todos mayores a cero, cuando para las gráficas del fabricante la transmitancia es del 0%. Para la Zona B, a excepción del filtro 400 dónde la transición no es uniforme, todas tienen zonas de transición rápidas y verticales. Por último, para la zona C, los valores de transmitancia si son parecidos.

7.4 Análisis de filtros cromáticos adaptables como filtro terapéutico económico

Para éste análisis se han valorado filtros cromáticos que no están diseñados para un uso terapéutico, pero que por sus características de transmitancia pudiesen ser utilizados como filtros de absorción selectiva. Una de las premisas de éste tipo de filtro era el precio, ya que debía tratarse de una solución económica.

Se encontraron en el mercado los filtros LEE (34). Se trata de láminas de papel de celofán que son fácilmente recortables y que se utilizan para la iluminación de los focos de escenarios. Ofrecen una gama cromática amplísima y son realmente económicos (podemos encontrar en el mercado 8 láminas de aproximadamente

20cm por 20cm por unos 12€). En la figura 49 se aprecia un muestrario cromático de los filtros LEE.



Figura 49. Muestrario de los filtros LEE. (35)

Para cada filtro cromático el fabricante adjunta la gráfica de transmitancia. Esto sirvió para elegir que filtros se medían (se buscaron graficas que correspondieran a los filtros cromáticos terapéuticos que se estaban estudiando).

Las comparativas siempre se hacían con todos los filtros de una misma longitud de onda de corte de los fabricantes de filtros terapéuticos.

De los 4 filtros (LEE 104, LEE106, LEE158, LEE758) el filtro LEE 158 ofrecía una longitud de onda de corte igual con alguno de los filtros cromático terapéuticos analizados anteriormente, por lo que se hace el análisis.

Los resultados obtenidos así como la gráfica de transmitancia proporcionada por el fabricante se pueden consultar en el Anexo 3.

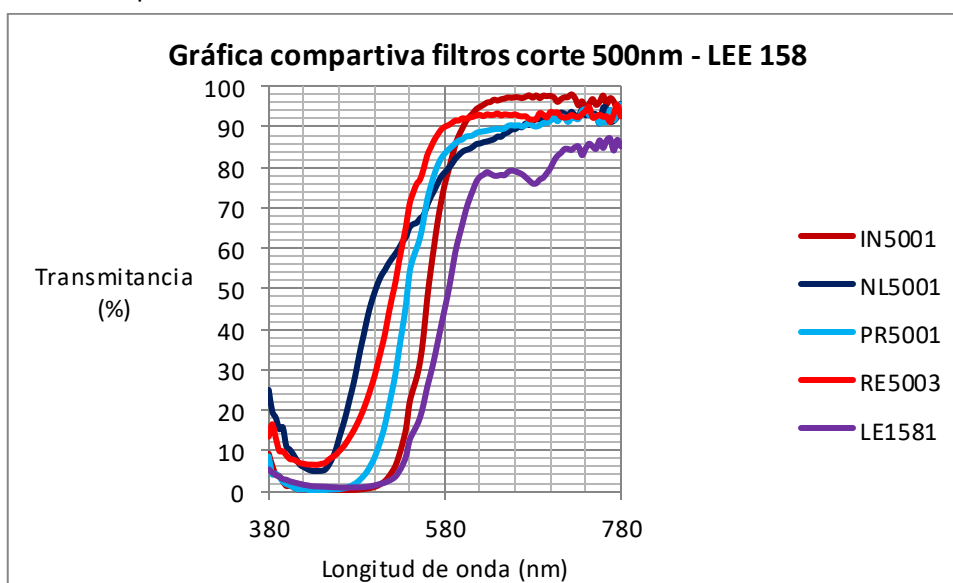


Figura 50. Representación gráfica comparativa de la transmitancia del filtro LEE 158(púrpura) frente al resto de filtros terapéuticos con longitud de onda de corte 500nm.

La comparativa de filtro LEE se ha hecho con los filtros terapéuticos comercializados con longitud de onda de corte 500nm.

Hasta la longitud de onda de corte, tal como se muestra en la figura 46, las gráficas del filtro INDO y LEE ofrecen un resultado parecido y con una longitud de onda de corte muy próxima a los 500nm además las dos gráficas son muy coincidentes.

En la zona B, a excepción de Naturlens, todas las muestras utilizan el equivalente a 80nm. En la zona C, es donde el filtro LEE ofrece la mayores diferencias respecto el resto de filtros donde la transmitancia máxima que se obtiene es del 85%(además no es uniforme) mientras que para el resto la mínima es del 90%.

8. Discusión

El objetivo principal del estudio era hacer un análisis comparativo de los filtros cromáticos terapéuticos de las diversas casas comerciales. El hecho de no encontrar en la literatura estudios de éste tipo, hará que la discusión sea en base a los datos del propio trabajo.

En el presente trabajo se han analizado 89 filtros cromáticos de 10 casas comerciales distintas. De todos ellos 85 correspondían a filtros cromáticos terapéuticos de las siguientes casa comerciales: AVS baja visión (7), Corning (10), Eschenbach (8), Essilor (10), INDO (6), Naturlens (8), Prats (10), Recoletos (20) y Zeiss (6). Las 4 restantes, son los filtros LEE, que no estaban diseñados como filtro terapéutico pero que podían ofrecer una alternativa económica a ellos.

De todas las longitudes de onda de corte que se han incluido, las más comunes según el número de fabricantes que las producían eran: 400nm (3 proveedores), 450nm (6 proveedores), 500nm (4 proveedores), 511nm (6 proveedores), 527nm (7 proveedores), 550nm (6 proveedores), 560 (2 proveedores), 585nm (4 proveedores) y el filtro C1 (2 proveedores). El resto de muestras solo estaban fabricadas por un proveedor, las longitudes de onda de corte de las cuales eran: 445nm, 455nm, 460nm, 470nm, 540nm, 580nm, 600nm y el filtro glarecutter.

Son para las muestras donde había 2 o más fabricantes dónde se ha hecho el análisis. A excepción de los filtros Corning, que son filtros minerales fotocromáticos, el resto de muestras están fabricadas en orgánico de índice de refracción 1.5.

A continuación vemos una relación de los filtros analizados indicando que fabricantes obtuvieron una curva más parecida a la patrón en todos los aspectos:

- Filtro 400nm: AVS baja visión y Prats
- Filtro 450nm: Eschenbach y Recoletos
- Filtro 500nm: INDO
- Filtro 511nm: AVS baja visión y Eschenbach
- Filtro 527nm: AVS baja visión, Eschenbach, Prats y Recoletos
- Filtro 550nm: AVS baja visión y Eschenbach
- Filtro 560nm: ninguno obtenía un buen resultado
- Filtro 585nm: Recoletos
- Filtro C1: Prats y Recoletos

Así, los fabricantes especializados en baja visión (AVS baja visión, Eschenbach y Recoletos) y Prats, obtuvieron los mejores resultados del análisis en todas las categorías, a excepción del filtro 500nm dónde obtuvo el mejor resultado el filtro de INDO. Los filtros Corning ofrecían un comportamiento distinto del resto en todos los casos, con zonas de transición larga (del orden de 180nm) y transmitancias máximas en la zona C cercanas al 85%, en general, de valor inferior a las demás casas comerciales (por estar fabricado en otro material distinto).

En el análisis de las distintas zonas de las curvas se han obtenido:

- La longitud de onda de corte, obtenía valores no más grandes de 15nm de lo esperado. A excepción del filtro de Zeiss 560nm que se alejaba hasta los 60nm. Y el filtro de Essilor lumior 1 que quedaba a 40nm de la longitud de onda de corte esperada.
- En la zona A, el valor máximo de transmitancia que se obtuvo era del 10% para la muestra de Naturlens 450nm. Para el resto la media del valor de transmitancia se sitúa cercano al 5% (estos valores son válidos sin tener en cuenta la zona cercana a los 380nm, dónde el ruido del espectralradiómetro provoca valores de transmitancia superiores).
- En la zona B, el espacio mínimo necesario para hacer la transición es de aproximadamente unos 45nm para los filtros de 400nm mientras que el máximo es de 200nm obtenido por la muestra del filtro de Naturlens 500nm. Para el resto de filtros el espacio medio para la transición se sitúa sobre los 80nm.
- En la zona C, es dónde se ha observado más variabilidad. El rango de transmitancia se mueve entre un 85% para el valor mínimo obtenido y un 95% para el valor máximo. En éste caso, sin tener en cuenta los filtros Corning (por estar fabricado en otro material distinto), el valor medio obtenido para el resto de muestras es próximo al 90% de transmitancia. Hay que recordar que en estas longitudes de onda son las que llevan menor cantidad de energía y, por lo tanto, menos dañan a las estructuras del ojo.

Por lo que se refiere a la reproducibilidad de los filtros, variando el índice de refracción del material, se obtienen valores de transmitancia un 17 % inferior a partir de los 600nm para la muestra en índice 1.6 respecto a la muestra en índice 1.5.

Si se variaba la potencia de graduación se produjo un efecto parecido, ya que la muestra con potencia -5 dioptrías obtenía valores de transmitancia sobre un 17% inferior a partir de los 700nm respecto a la muestra con potencia de graduación +5 dioptrías. Para obtener alguna conclusión respecto a este punto, sería necesario hacer un estudio más profundo. En este trabajo, la observación de diferencias entre muestras graduadas y muestras neutras, nos ha llevado a comparar filtros cromáticos sólo en muestras neutras, para aislar el efecto del filtro sobre otros aspectos no relevantes, como la potencia.

En lo que se refiere a la repetitividad de las muestras; la diferencia de transmitancia máxima que se encontró en la zona C entre dos muestras fue del 20% y la mínima del 0 %. Aunque la diferencia media encontrada en el resto es del 4%.

En la comparativa con las gráficas ofrecidas por los fabricantes, los valores que más se parecen a los obtenidos en el laboratorio son de Corning. Para AVS, en la zona A es donde hay más diferencias, los valores de la casa comercial son del 0% en toda la zona a diferencia de los obtenidos en el laboratorio para los cuales podemos encontrar valores de transmitancia del orden de un 5%.

Por último, en la búsqueda por encontrar una alternativa económica que se pueda utilizar como filtro cromático terapéutico, de las cuatro muestras medidas, se han encontrado similitudes altas en las zonas A (con valores de transmitancia del 0%), en la zona B (con transiciones próximas a los 100nm) y en la longitud de onda de corte (alejada de media 10nm de las longitudes de onda de corte analizadas). En la zona C (dónde aparecen las diferencias mayores) la transmitancia en tres de los cuatro filtros medidos (LEE 106, LEE 158, LEE 781) es inferior al 85% en todos los puntos, además con poca horizontalidad.

9. Conclusiones

En éste trabajo se ha presentado un protocolo de medida que ha permitido la obtención de la transmitancia espectral de una manera normalizada. Además, se han medido con éste protocolo las muestras obtenidas y se han podido analizar los diversos aspectos que vienen a continuación:

- En el análisis de los resultados de las muestras de la transmitancia concluye que las casas comerciales especializadas en productos de baja visión como son AVS baja visión, Eschenbach y Recoletos ofrecen los resultados más próximos al patrón teórico.

La variación media de los valores obtenidos en las medidas de los filtros terapéuticos son los siguientes:

- Zona A: el valor alrededor de un 5% de transmitancia
- Zona B: zona de transición de media de 80nm.
- Zona C: valor de transmitancia próxima al 90%.
- Longitud de onda de corte: alejada de media alrededor de los 20 nm. respecto al valor teórico.

Todos éstos valores serían válidos para los filtros cromáticos terapéuticos fabricados en material orgánico no fotocromático.

El caso de Corning muestra un comportamiento distinto con el resto de filtros, llegando a la conclusión que éste hecho es debido a la naturaleza del material de fabricación del filtro (mineral fotocromático).

- En la comparativa con la información de los fabricantes, la casa comercial Corning es la que ofrece unas gráficas de transmitancia más parecidas a las que se han obtenido en el laboratorio. Aunque hay que tener en cuenta que las condiciones de medida del fabricante son desconocidas. Por lo tanto, algunas diferencias se podrían explicar por ésta razón.
- Referente a la repetitividad y la reproducibilidad, las diferencias se establecían en la zona C con una diferencia media de transmitancia de un 10% de media, a diferencia de la longitud de onda de corte, dónde hay coincidencia. Para explicar estas diferencias hay que tener en cuenta que existen gran cantidad de factores que pueden variar la transmitancia. Por ésta razón, se llega a la conclusión de la necesidad de un protocolo tanto en el proceso de coloración (condiciones lumínicas, de temperatura, de uso de los tintes) cómo en el control de calidad para reducir el número de grados de libertad. Apuntando, cómo un posible protocolo normalizado de control de calidad, al utilizado en éste estudio con los valores anteriormente mencionados.
- Por último, en el intento de buscar un filtro cromático terapéutico para personas en riesgo de exclusión social, los filtros LEE abren una puerta a esta posibilidad. El amplio abanico cromático que ofrecen estos filtros hace pensar que se podría encontrar otras muestras, como en el caso del filtro LEE 758

(con una longitud de onda de corte de 500nm.) para cubrir otras longitudes de onda de corte.

10. Futuras investigaciones

La limitación temporal del trabajo, ha provocado que tras el análisis de los resultados obtenidos se me plantearon aspectos a valorar que no se han podido realizar y que en un futuro me gustaría llevar a cabo.

Se han clasificado en dos bloques, los que se han analizado en éste trabajo y deberían ampliarse; y los que no han sido tratados pero que a causa de la investigación han surgido como aspectos interesantes a estudiar. Son los siguientes:

- Analizados en éste trabajo:
 - Efecto del sustrato de fabricación del filtro sobre la transmitancia espectral, tanto a nivel de materiales de fabricación cómo del efecto del envejecimiento.
 - Análisis de los filtros Corning y de su comportamiento diferente respecto a los otros filtros, debido a su carácter diferencial realizar un estudio específico.
- No tratados en éste estudio:
 - Influencia subjetiva de las discrepancias obtenidas en las características de transmitancia de los filtros.

11. Bibliografía

1. **Navarro Sentanyes, Antonio.** *Materiales ópticos inorgánicos*. Terrassa: A. Navarro Sentanyes, 1997.
2. **Paul Allen Tipler, Gene Mosca.** *Física para la ciencia y la tecnología. Volumen 2 Electricidad y magnetismo/Luz*. s.l.: Reverte, 2010. 9788429144291.
3. **Francis A. Jenkins, Francis E. White.** *Fundamentals of optics*. s.l.: McGraw Hill, 2001. 0072561912.
4. **Hecht, Eugene.** *Óptica*. s.l.: ADDISON-WESLEY, 1999. 9788478290253.
5. **María Sagrario Millán, Jaume Escofet, Elisabet Pérez.** *Óptica Geométrica*. 2011. 9788434480643.
6. **Joan Salvado Arqués, Marta Fransoy Bel.** *Tecnología Óptica*. Barcelona: edicions UPC, 1996. ISBN 84-8301-474-2.
7. **ICNIRP.** ICNIRP. *ICNIRP*. [En línea] [Citado el: 19 de 05 de 2017.] <http://www.icnirp.org/en/frequencies/index.html>.
8. **MULTILENS.** MULTILENS. *MULTILENS*. [En línea] [Citado el: 13 de 07 de 2017.] http://multilens.se/en/system/files/documents/webbversion_engelsk_ml_filter_katalog_march_2017_art_nr_94087.pdf.
9. **Essilor.** Catálogo de lentes 2017. *Catálogo de lentes 2017*. 2017.
10. **INDO.** INDO. *INDO*. [En línea] [Citado el: 17 de 9 de 2017.] http://www.indo.pt/lentes/consumer_coloraciones_indocare.asp.
11. **MULTILENS.** www.multilens.se. *www.multilens.se*. [En línea] [Citado el: 13 de 07 de 2017.] http://multilens.se/en/system/files/documents/webbversion_engelsk_ml_filter_katalog_march_2017_art_nr_94087.pdf.
12. **Zeiss.** *Zeiss*. [En línea] [Citado el: 29 de 05 de 2017.] https://www.zeiss.es/vision-care/es_es/eye-care-professionals/conocimiento-optico/para-los-expertos/normas-y-directivas.html.
13. **BPI.** *BPI*. [En línea] [Citado el: 08 de 10 de 2017.] <http://www.callbpi.com/support/sistinta.html>.
14. **COTSA.** Catálogo de lentes COTSA 2017. *Catálogo de lentes COTSA 2017*. 2017.
15. **Rodríguez, Eva Seco.** *Efectividad de la utilización de filtros de absorción selectiva en pacientes con BV*. 2012.
16. **Coco, Herrera, Cuadrado, De Lázaro.** *Manual de baja visión y rehabilitación visual*. Madrid: Panamericana, 2015. 978-84-9835-849-0.
17. **Real Academia Española.** RAE. *RAE*. [En línea] [Citado el: 23 de 07 de 2017.] <http://dle.rae.es/?id=ZWhoL5n>.

18. **ONCE.** ONCE. *ONCE*. [En línea] [Citado el: 22 de 07 de 2017.]
<http://www.once.es/new/servicios-especializados-en-discapacidad-visual/discapacidad-visual-aspectos-generales>.
19. **WHO.** WHO. *WHO*. [En línea] [Citado el: 17 de 07 de 2017.]
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/es/>.
20. **Coco, Herrera, Cuadrado, De Lázaro.** *Manual de Baja Visión y Rehabilitación Visual*. s.l.: Panamericana, 2015. 9788498358490.
21. **CCedrún-Sánchez JE, Chamorro E, Bonnin-Arias C, Aguirre-Vilacoro V, Castro JJ, Sánchez-Ramos C.** *Visual Discrimination Increase by Yellow Filters in Retinitis Pigmentosa*. 2016. 10.1097/OPX.0000000000000924.
22. **Sadeghpour N, Alishiri AA, Ajudani R, Khosravi MH, Amiri MA, Sadeghpour O.** *Quantity and Quality of Vision Using Tinted Filters in Patients with Low Vision Due to Diabetic Retinopathy*. 2015. 10.4103/2008-322X.158893.
23. **Bailie M, Wolffsohn JS, Stevenson M, Jackson AJ.** *Functional and perceived benefits of wearing coloured filters by patients with age-related macular degeneration*. 2013. 10.1111/cxo.12031.
24. **T.E. Fanin, T. Grosvenor.** *Óptica Clínica*. s.l.: Ediciones omega, 2007. 9788428214223.
25. **Park SI, Jang YP.** *The Protective Effect of Brown-, Gray-, and Blue-Tinted Lenses against Blue LED Light-Induced Cell Death in A2E-Laden Human Retinal Pigment Epithelial Cells*. 2016. 10.1159/000452174.
26. **Yoshiki Kuse, Kenjiro Ogawa, Kazuhiro Tsuruma, Masamitsu Shimazawa and Hideaki Haraa.** *Damage of photoreceptor-derived cells in culture induced by light emitting diode-derived blue light*. 2014. 10.1038/srep05223.
27. **Sanchez-Ramos Roda, Celia.** *Filtros ópticos contra el efecto fototóxico del espectro visible en la retina: Experimentación animal*. 2010.
28. **AVS BAJA VISION.** AVS BAJA VISION. *AVS BAJA VISION*. [En línea] [Citado el: 23 de 07 de 2017.]
<http://www.tiendabajavision.com/tiendaonline/Ficha.aspx?producto=1101>.
29. **MAGNICENTER.** MAGNICENTER. *MAGNICENTER*. [En línea] [Citado el: 23 de 07 de 2017.] <http://www.magnicenter.com/bajavision/clip-on-polarizado-verde.html>.
30. **Òptica Llinars.** optica llinars. *optica llinars*. [En línea] [Citado el: 24 de 07 de 2017.]
<http://www.opticallinars.com/~optical/es/filtros-especiales/99-filtro-csr.html>.
31. **Commission Internationale de l'Eclairage.** CIE. *CIE*. [En línea] [Citado el: 17 de 09 de 2017.] http://div1.cie.co.at/?i_ca_id=551&pubid=94.
32. **J. M. Artigas, Pascual Capilla, Jaume Pujol i Ramo i coord.** *Tecnología del color*. Valencia : s.n., 2002. 8437054362.
33. **Recoletos baja visión.** gruporecoletos. *gruporecoletos*. [En línea] [Citado el: 26 de 09 de 2017.]

file:///C:/Users/josep/Downloads/1_Ficha%20tecnic%20ML%20Filter%202008%20(2).pdf.

34. **LEE filters.** leefilters. *leefilters*. [En línea] [Citado el: 03 de 10 de 2017.]

<http://www.leefilters.com/lighting/colour-list.html>.

35. **lightingelstore.** *lightingelstore*. [En línea] [Citado el: 26 de 09 de 2017.]

<http://www.lightingelstore.com/designer-stage-pack-2-8-par56-8-lee-lighting-gels/>.

36. **L. Brilliant, Richard.** *Essentials of Low Vision Practice*. Woburn : Butterworth-Heinemann, 1999. ISBN 0-7506-9307-X.

37. **UVED.** [http://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uvcal/html/rayonnement/1-](http://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uvcal/html/rayonnement/1-rayonnement-electromagnetique/1-2-les-ondes-electromagnetiques.html)

[rayonnement-electromagnetique/1-2-les-ondes-electromagnetiques.html](http://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uvcal/html/rayonnement/1-rayonnement-electromagnetique/1-2-les-ondes-electromagnetiques.html). <http://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uvcal/html/rayonnement/1-rayonnement-electromagnetique/1-2-les-ondes-electromagnetiques.html>. [En línea] [Citado el: 16 de 05 de 2017.]

38. **Wikipedia.** Wikipedia. *Wikipedia*. [En línea] [Citado el: 22 de 05 de 2017.]

https://ca.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein.

39. **Histoptica.** *Histoptica*. [En línea] [Citado el: 29 de 05 de 2017.]

<https://histoptica.com/apuntes-de-optica/lentes-opticas/vidrio/imperfecciones-del-vidrio/>.

40. **Vision, Recoletos Baja.** *Catálogo Recoletos Baja Visión*. 2017.

Anexo 1

Terrassa, 22 de Febrero de 2017

A la atención de

El motivo de mi carta es solicitar su colaboración para la elaboración de mi Trabajo Final del Máster Universitario en Optometría y Ciencias de la Visión en la Universitat Politècnica de Catalunya(UPC).

Soy optometrista desde hace diez años y en los últimos cuatro he centrado mi práctica profesional en los pacientes de baja visión. Esta especialización me llevó hace dos años a empezar los estudios de Máster en la UPC para poder profundizar más en los conocimientos de esta rama de la optometría y de esta manera mejorar la calidad de mi examen visual.

Durante estos últimos años he podido descubrir las distintas posibilidades que nos encontramos para aprovechar al máximo el resto visual de los pacientes. Entre las distintas opciones podemos encontrar tanto ayudas ópticas (telescopios, microscopios, lupas,...) cómo ayudas no ópticas (atrilas, iluminación, rehabilitación en las actividades de la vida diaria,...). Es en este último grupo de ayudas dónde contamos con una baza importante a la hora de mejorar la calidad de visión y de vida de los pacientes de baja visión, los filtros.

Cuando nos adentramos en el mercado de los filtros de baja visión, descubrimos la gran cantidad de opciones que nos ofrece el mercado (distintas absorciones, filtros graduados, filtros sin graduar, suplementos,...). Esta ha sido la motivación por la cual el tema de mi trabajo final de máster se ha centrado en los filtros.

Me gustaría en este estudio, tutorizado por las profesoras Eulalia Sánchez, Elisabet Pérez y Aurora Torrents, hacer mi aportación para poder establecer cuáles son las diferencias y/o similitudes entre las distintas opciones de filtros que nos ofrecéis los fabricantes.

Es por este motivo, que les agradecería la cesión de muestras de los distintos filtros de baja visión que comercializan para así poder hacer las distintas medidas. Contando con su colaboración podremos realizar un estudio mucho más completo y podrán, como no podría ser de otra manera, contar con el estudio completo una vez esté presentado.

Quedo a la espera de tener noticias tuyas, agradeciéndoles de antemano su atención.

Atentamente,

Miquel Gómez Moliner (proyectista)

Eulalia Sánchez(tutora)

Elisabet Perez (tutora)

Aurora Torrents(tutora)

Anexo 2

El motivo de mi solicitud de sus filtros de baja visión se enmarca dentro del Trabajo Final del Máster Universitario en Optometría y Ciencias de la Visión en la Universitat Politècnica de Catalunya(UPC).

Este trabajo final de máster está diseñado cómo un estudio no experimental observacional. El objetivo es hacer, únicamente en el laboratorio, la medida de la transmitancia espectral para poder comparar las medidas de los distintos filtros de baja visión que ofrecen las casas comerciales y así poder establecer las diferencias y/o similitudes entre ellos.

La toma de medidas se debe hacer una vez obtengamos todas las muestras de los distintos fabricantes. Para así hacerlas de una vez y mantener las condiciones de medida lo más estables posibles y de esta manera obtener la mayor fiabilidad.

El calendario previsto para hacer estas medidas se establece como muy tarde a la segunda semana del mes de Junio. Una vez hechas las medidas, se devolverán todas las muestras a los distintos fabricantes.

Para la recepción de sus muestras sería preferible poderlas recibir durante el mes de Abril y así poder empezar a trabajar con ellas antes de hacer la medida definitiva.

Cómo agradecimiento a su colaboración, podrán contar con el estudio completo una vez esté presentado.

Atentamente,

Miquel Gómez Moliner (proyectista)

Eulalia Sánchez(tutora)

Elisabet Perez (tutora)

Aurora Torrents(tutora)

Anexo 3

Anexo 3.1. AVS baja visión

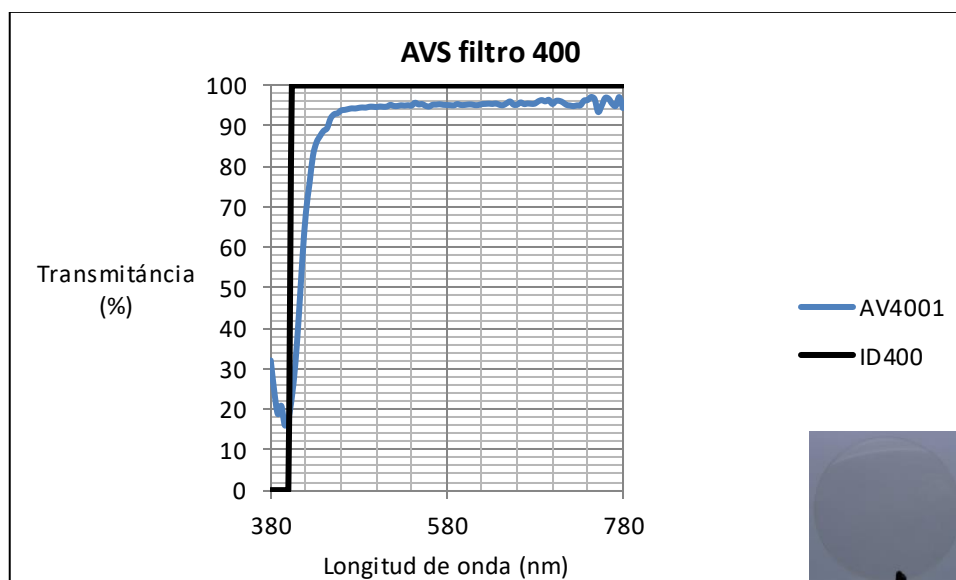


Figura A 1. Representación gráfica comparativa del filtro AVS 400 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

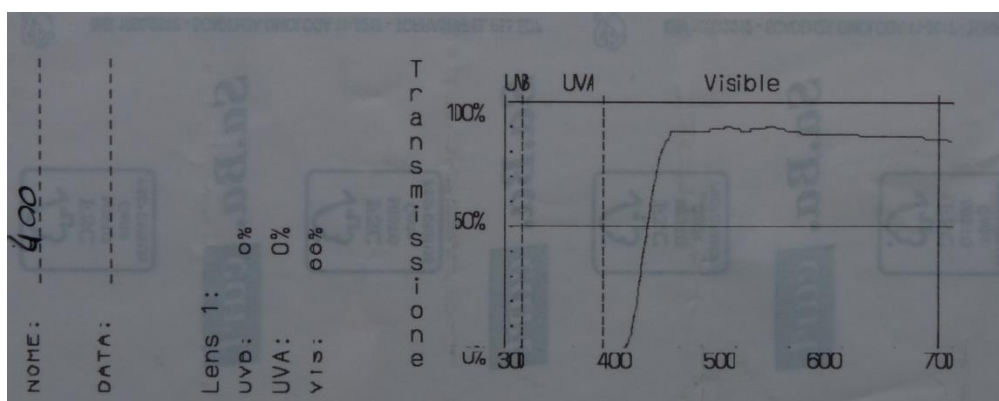


Figura A2. Gráfica de la transmitancia aportada por AVS baja visión para el filtro 400nm.

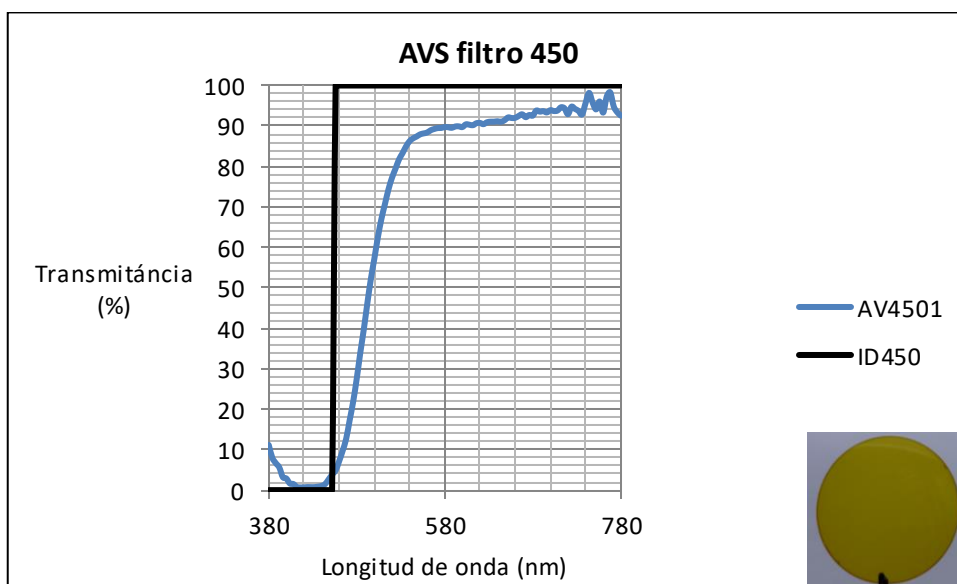


Figura A.3. Representación gráfica comparativa del filtro AVS 450 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

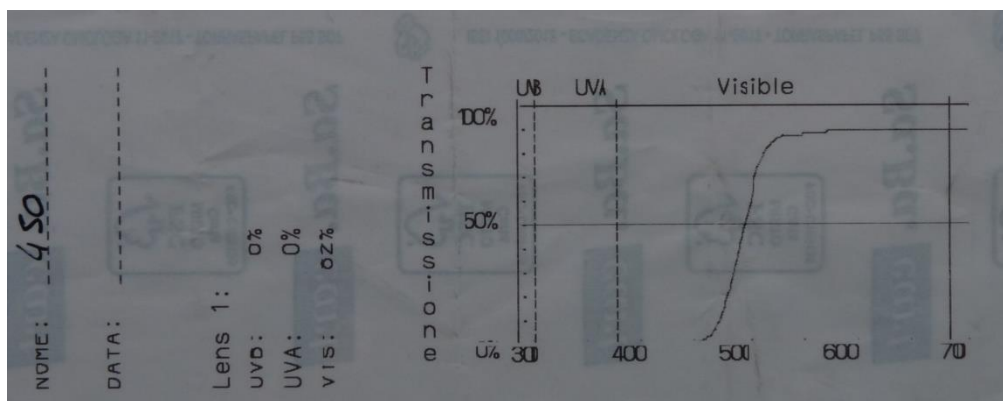


Figura A.4. Gráfica de la transmitancia aportada por AVS baja visión para el filtro 450nm.

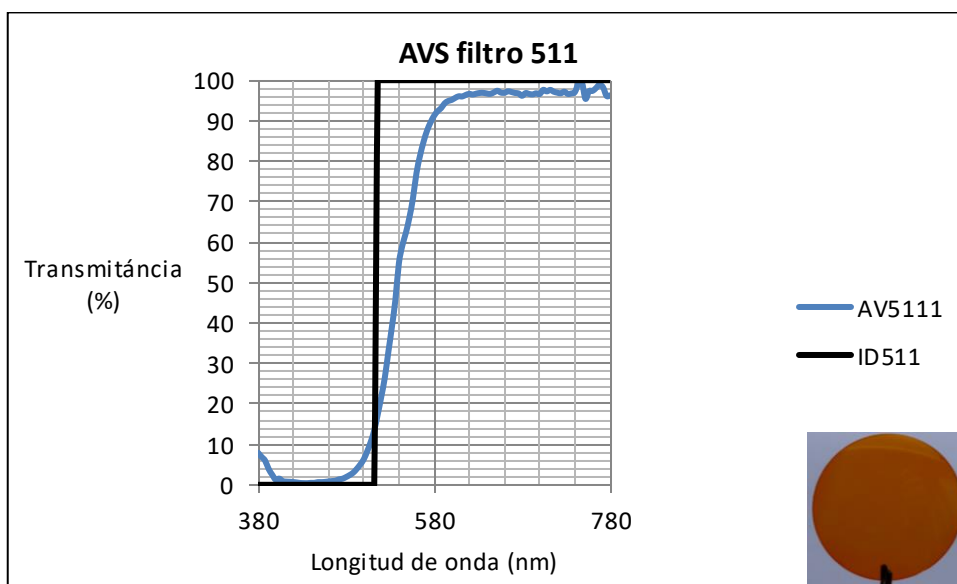


Figura A.5. Representación gráfica comparativa del filtro AVS 511 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

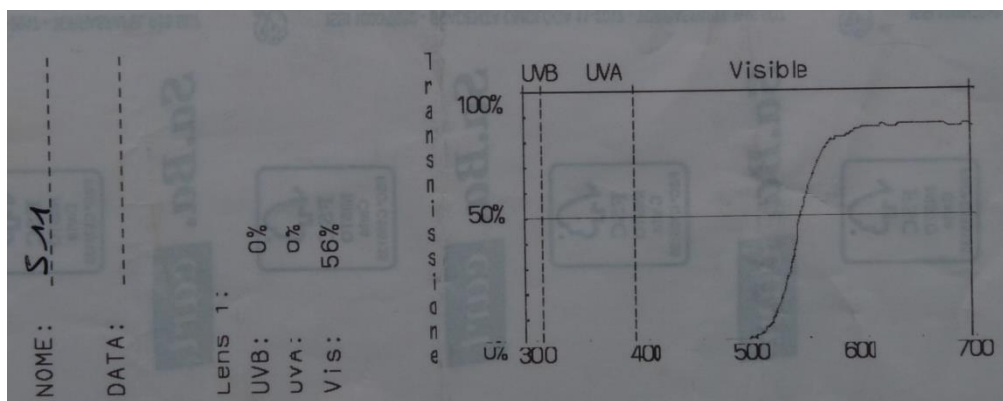


Figura A.6. Gráfica de la transmitancia aportada por AVS baja visión para el filtro 511nm.

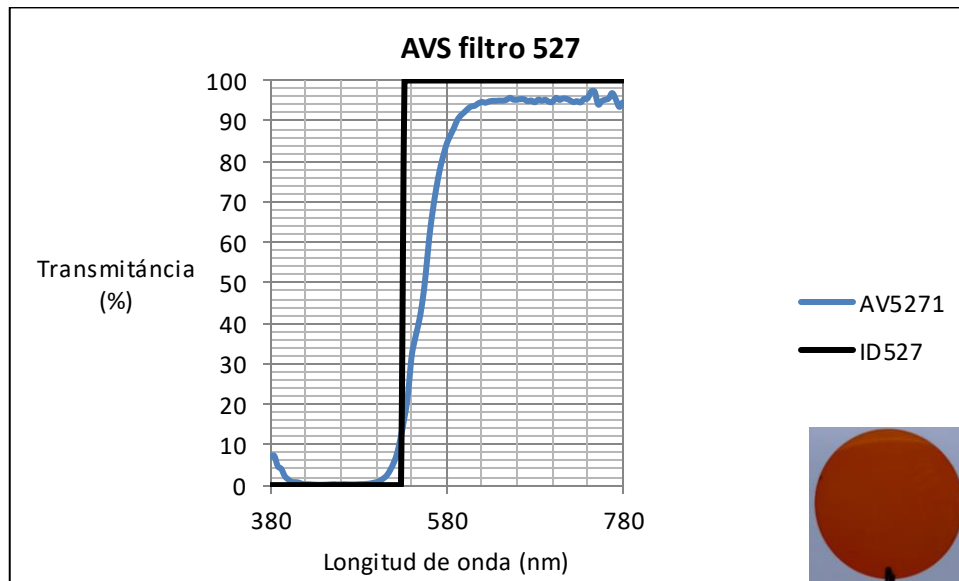


Figura A.7. Representación gráfica comparativa del filtro AVS 527 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

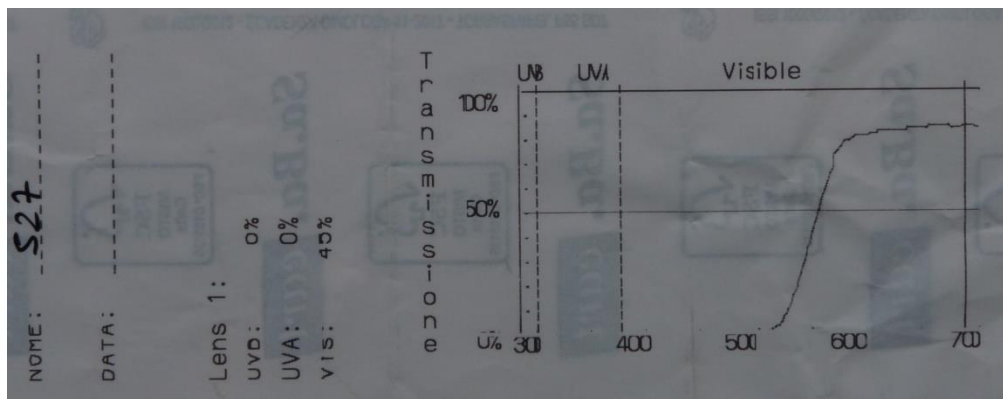


Figura A.8. Gráfica de la transmitancia aportada por AVS baja visión para el filtro 527nm.

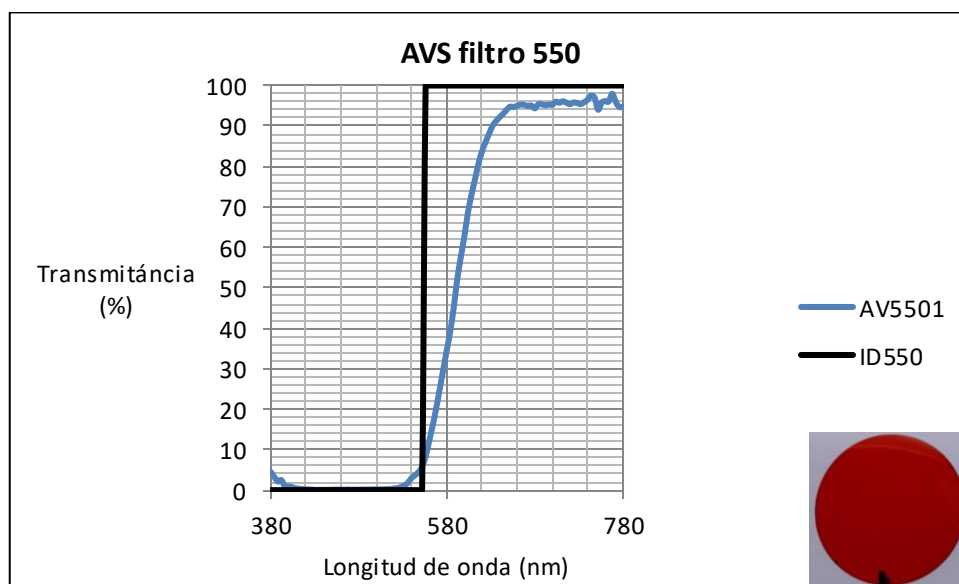


Figura A.9. Representación gráfica comparativa del filtro AVS 550 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

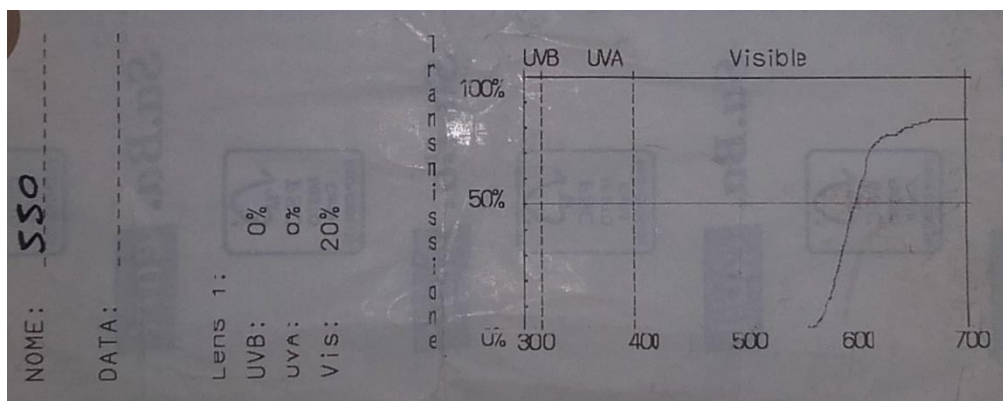


Figura A.10. Gráfica de la transmitancia aportada por AVS baja visión para el filtro 550nm.

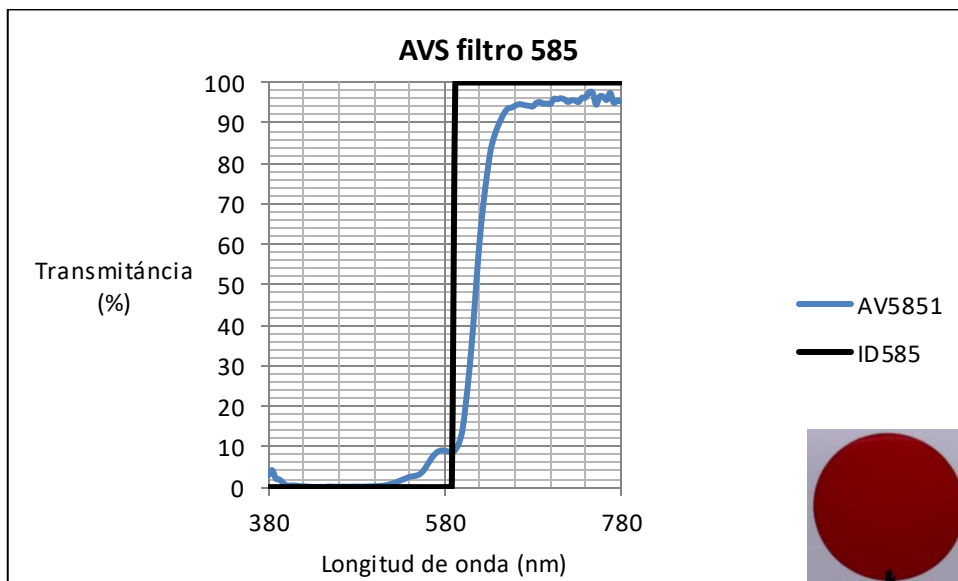


Figura A.11. Representación gráfica comparativa del filtro AVS 585 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

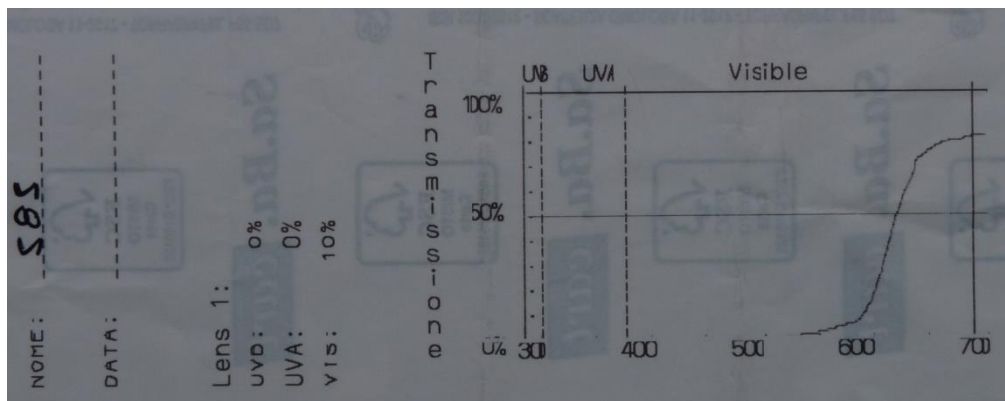


Figura A.12. Gráfica de la transmitancia aportada por AVS baja visión para el filtro 585nm.

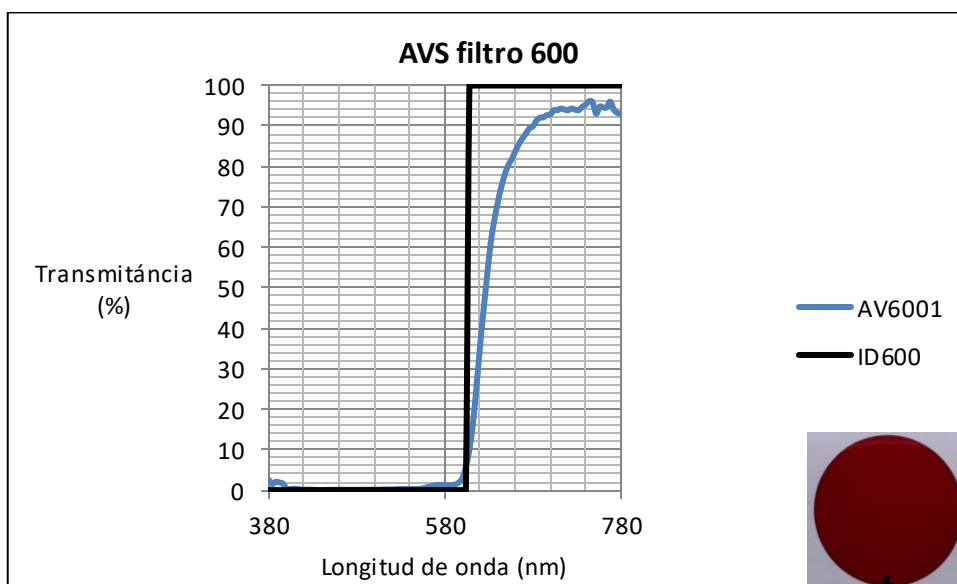


Figura A.13. Representación gráfica comparativa del filtro AVS 600nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

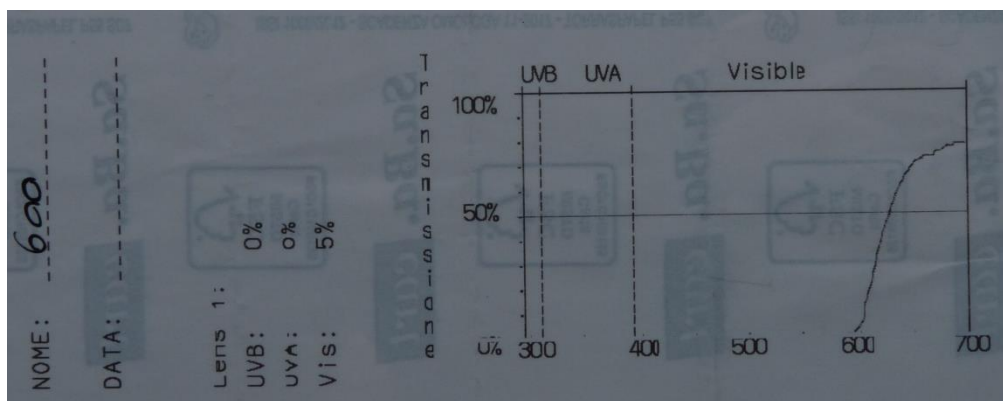


Figura A.14. Gráfica de la transmitancia aportada por AVS baja visión para el filtro 585nm.

Anexo 3.2 Corning

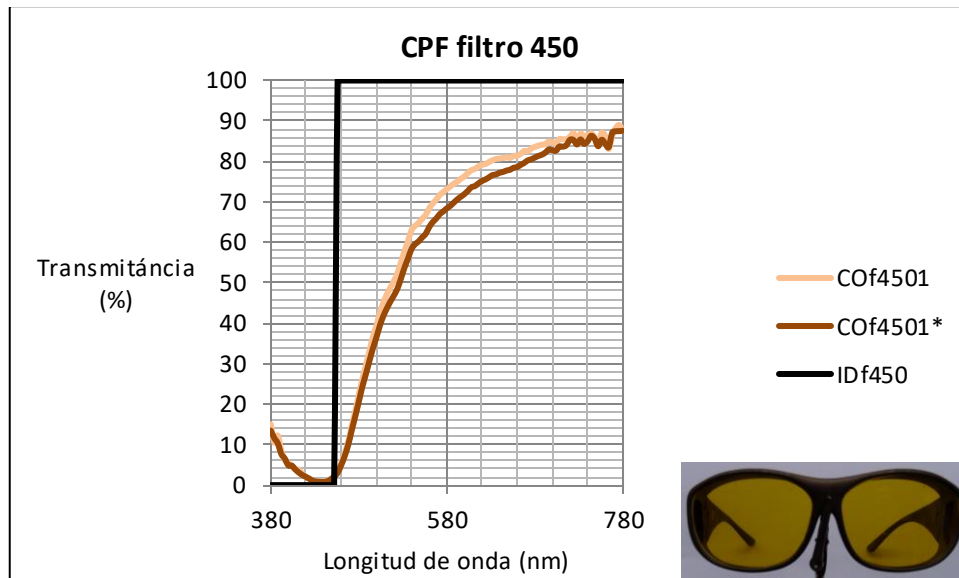


Figura A 15. Representación gráfica comparativa del filtro Corning 450 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

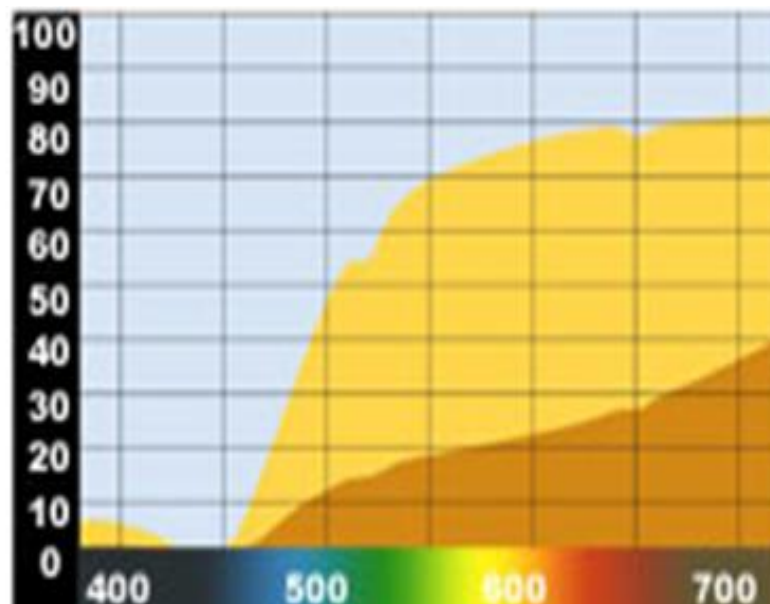


Figura A.16. Gráfica de la transmitancia aportada por Corning para el filtro 450nm.

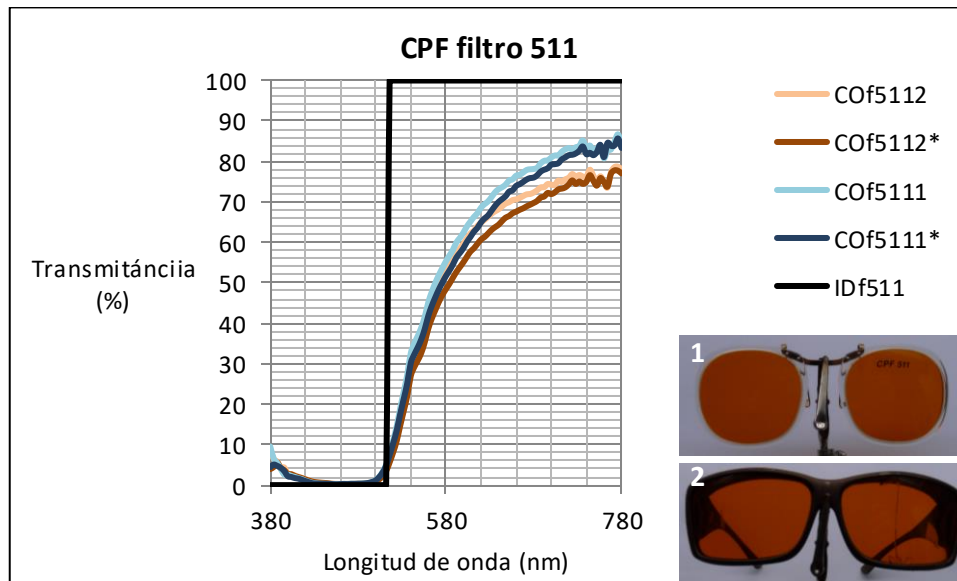


Figura A 17. Representación gráfica comparativa de las muestras del filtro Corning 450 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

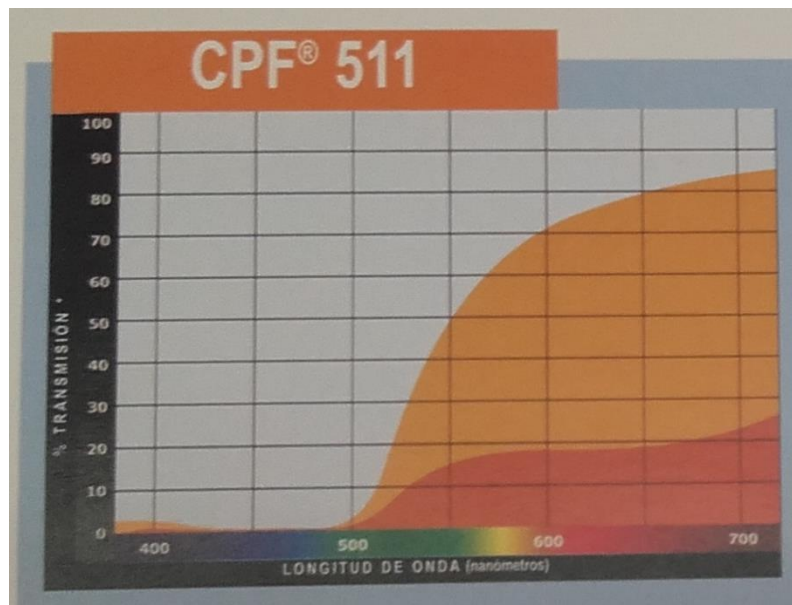


Figura A 18. Grafica de la transmitancia aportada por Corning para el filtro 511nm.

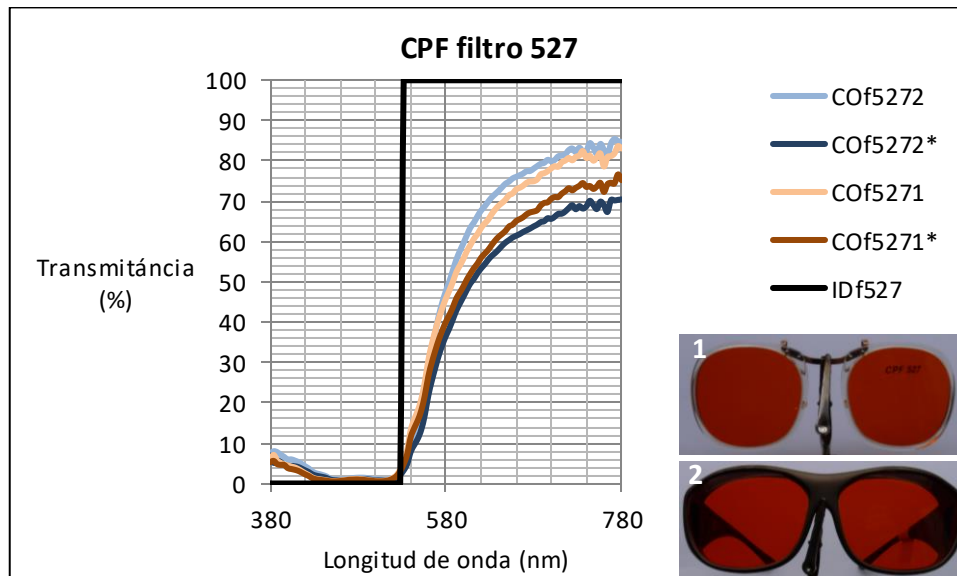


Figura A 19. Representació gràfica comparativa de les mostres del filtre Corning 527 nm amb el filtre ideal. En el àngulo inferior dret imatge de la mostra utilitzada.

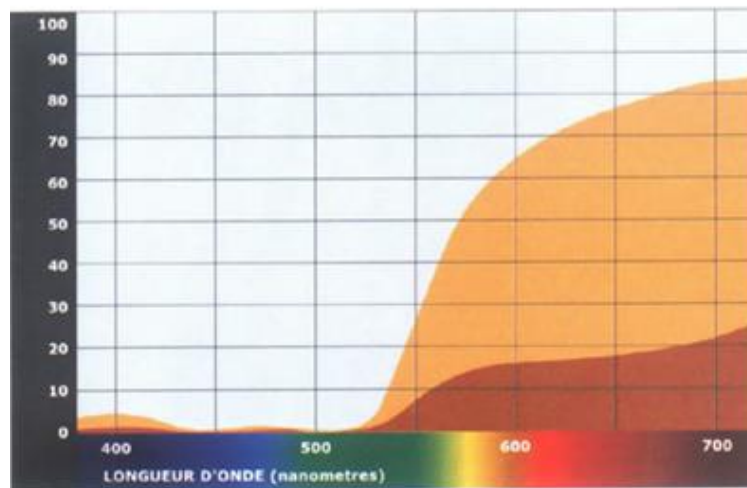


Figura A 20. Gràfica de la transmissió aportada per Corning per al filtre 527nm.

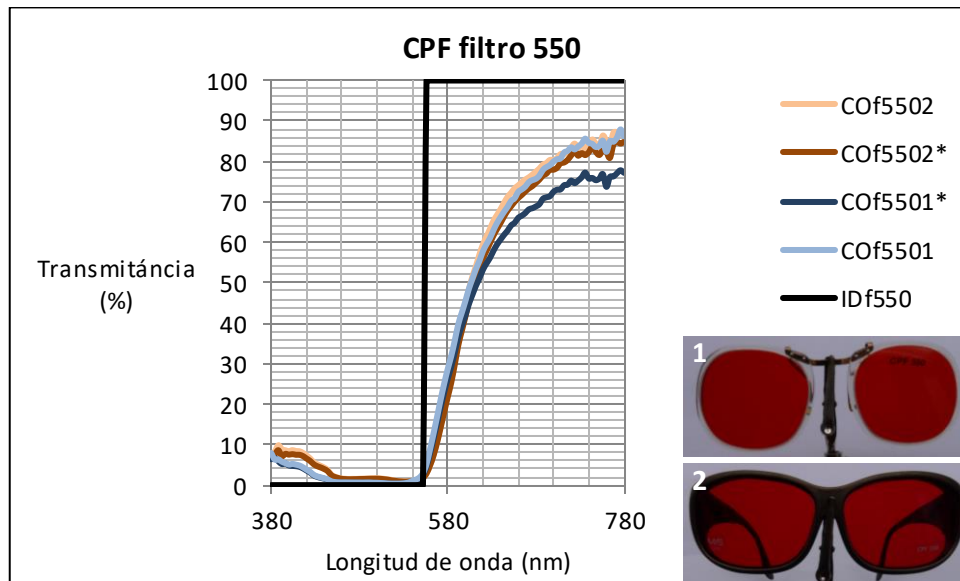


Figura A 21. Representación gráfica comparativa de las muestras del filtro Corning 550 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

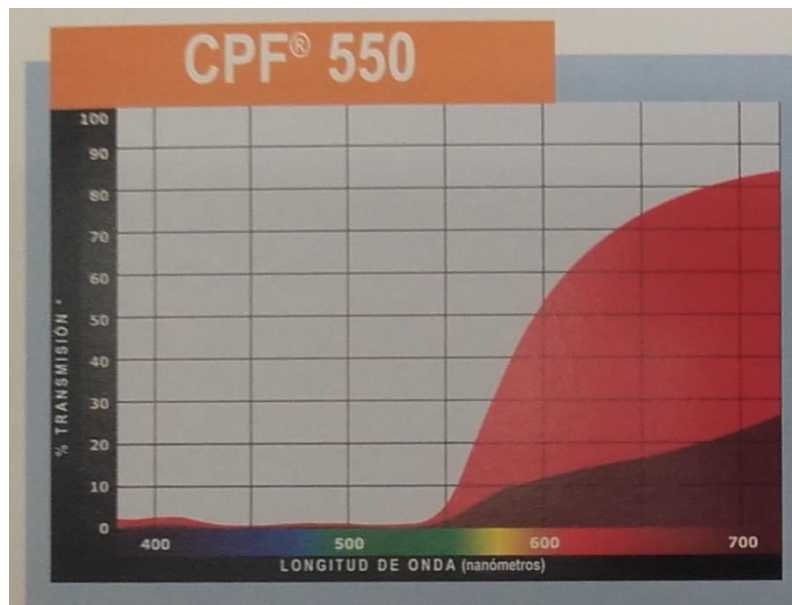


Figura A 22. Gráfica de la transmitancia aportada por Corning para el filtro 550nm.

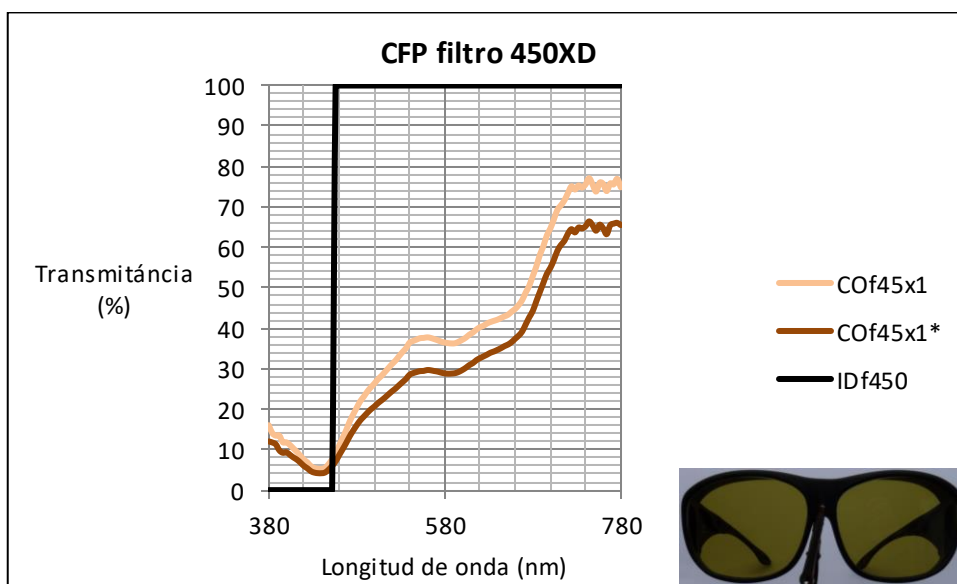


Figura A 23. Representación gráfica comparativa del filtro Corning 450XD con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

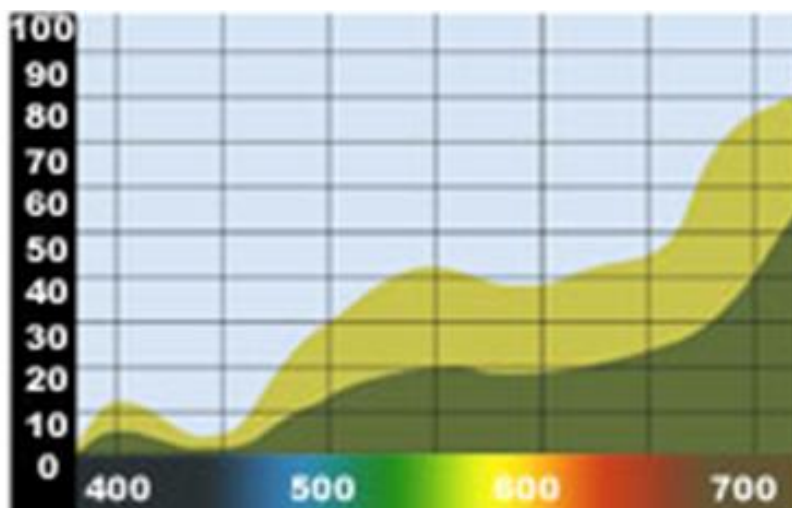


Figura A 24. Gráfica de la transmitancia aportada por Corning para el filtro 450XD.

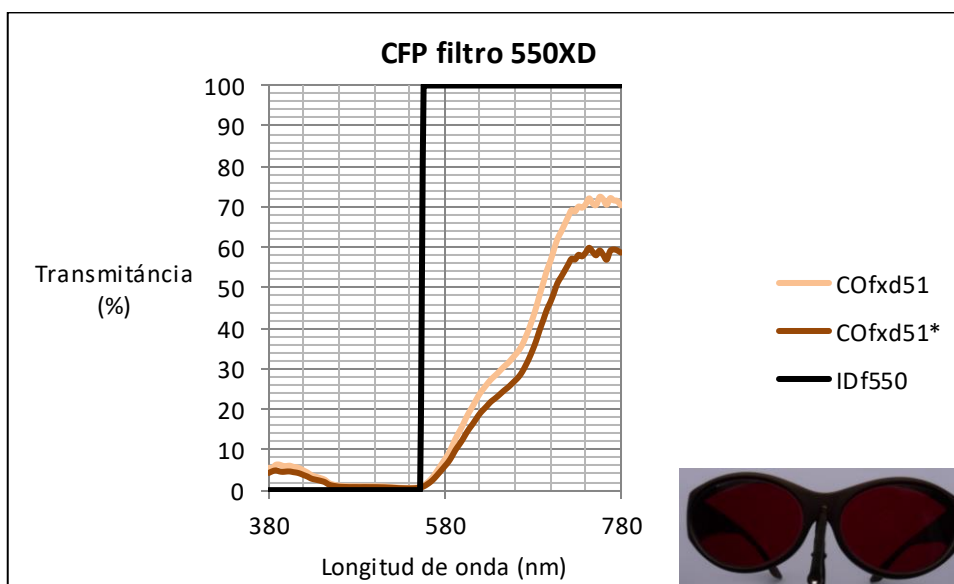


Figura A 25. Representación gráfica comparativa del filtro Coming 550XD con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

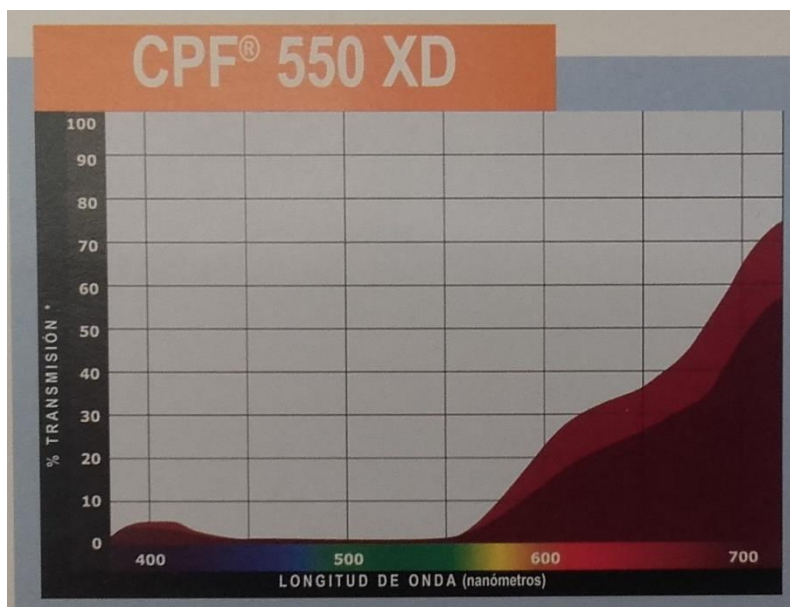


Figura A 26. Gráfica de la transmitancia aportada por Corning para el filtro 550XD.

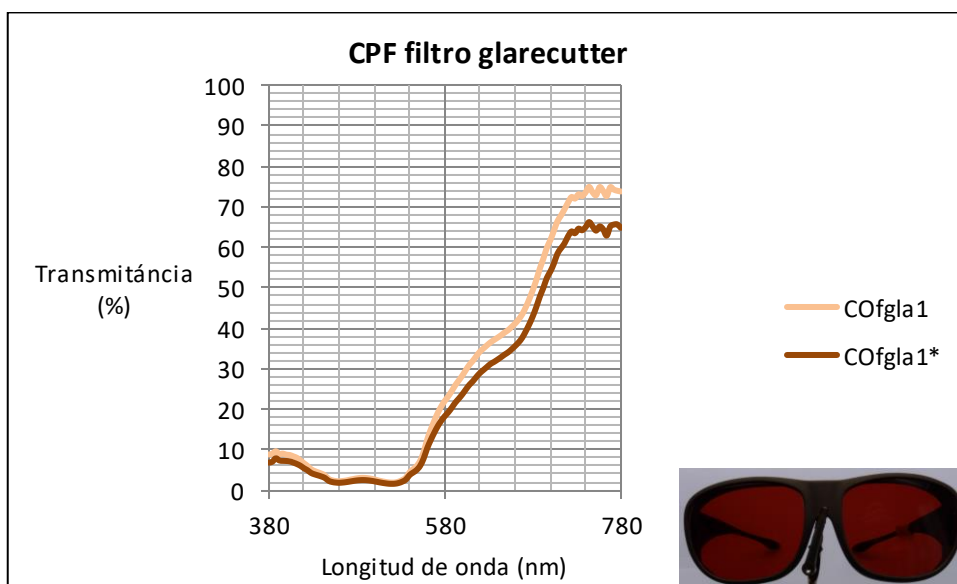


Figura A 27. Representación gráfica comparativa del filtro Corning Glarecutter con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

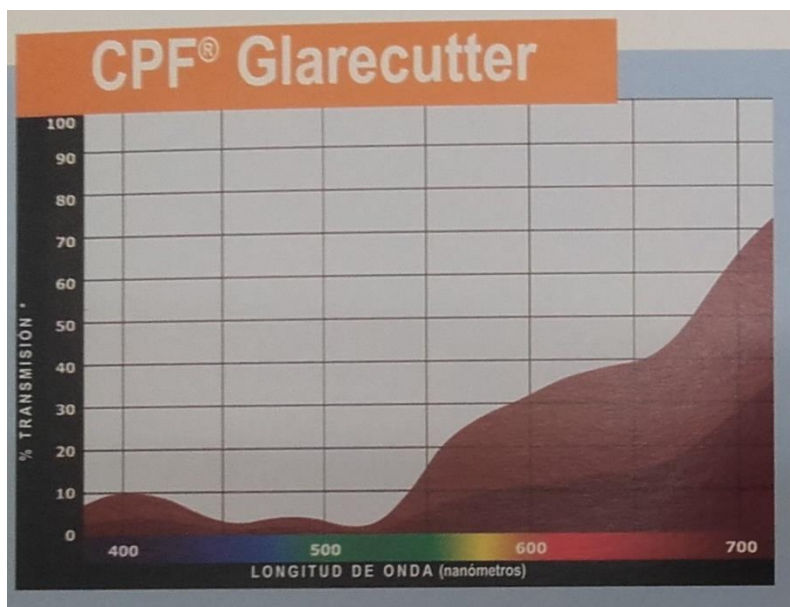


Figura A 28. Gráfica de la transmitancia aportada por Corning para el filtro Glarecutter.

Anexo 3.3 Eschenbach

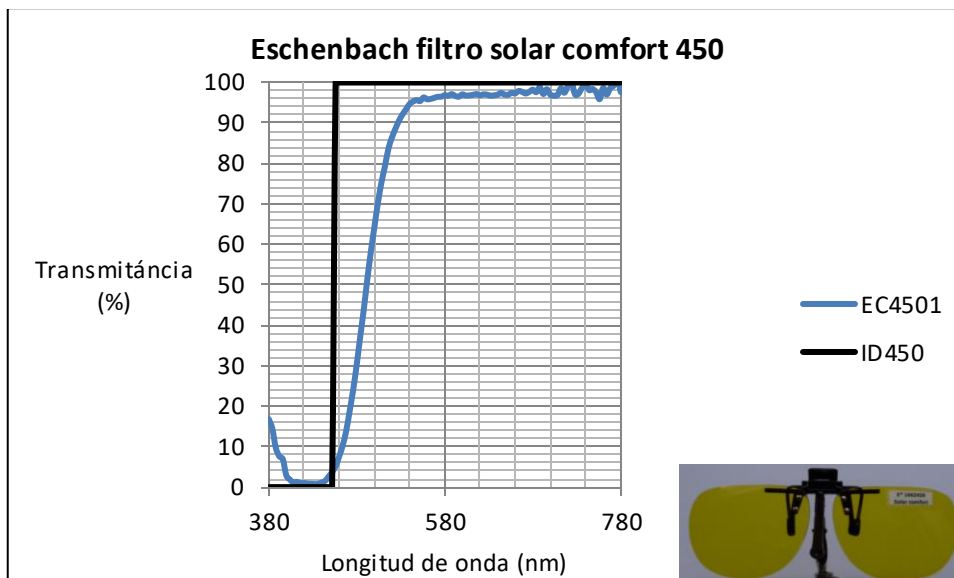


Figura A 29. Representación gráfica comparativa del filtro Eschenbach Solar Comfort 450 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

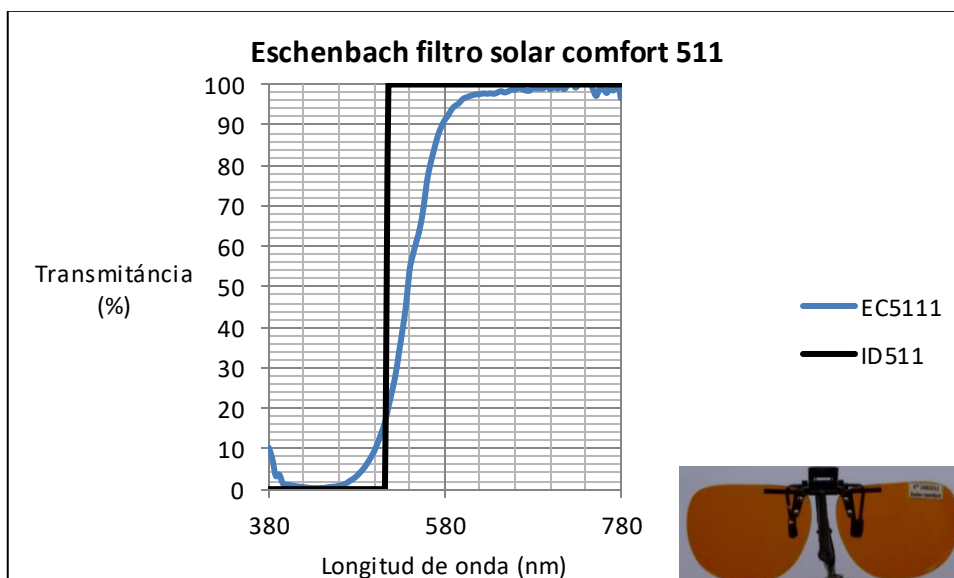


Figura A 30. Representación gráfica comparativa del filtro Eschenbach Solar Comfort 511 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

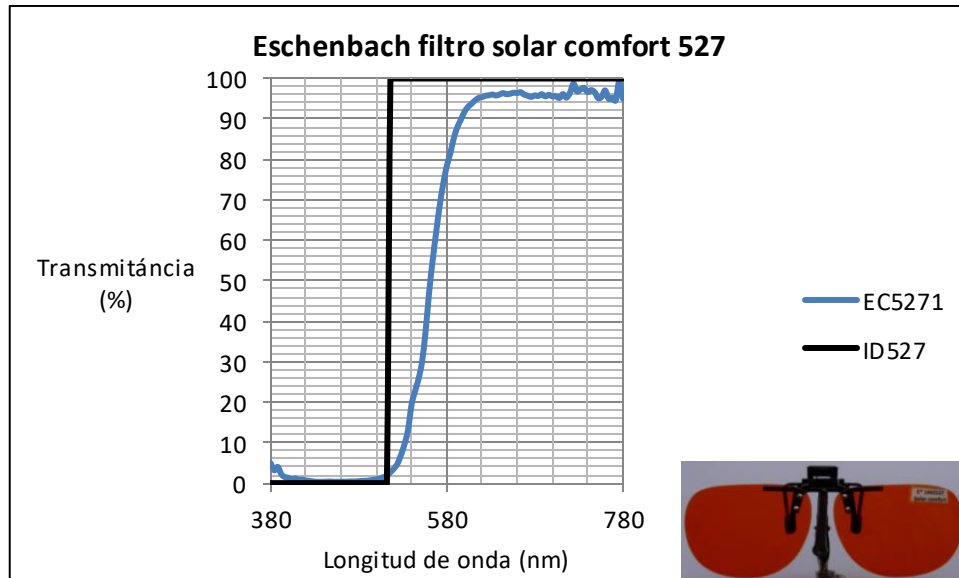


Figura A 31. Representación gráfica comparativa del filtro Eschenbach Solar Comfort 527 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

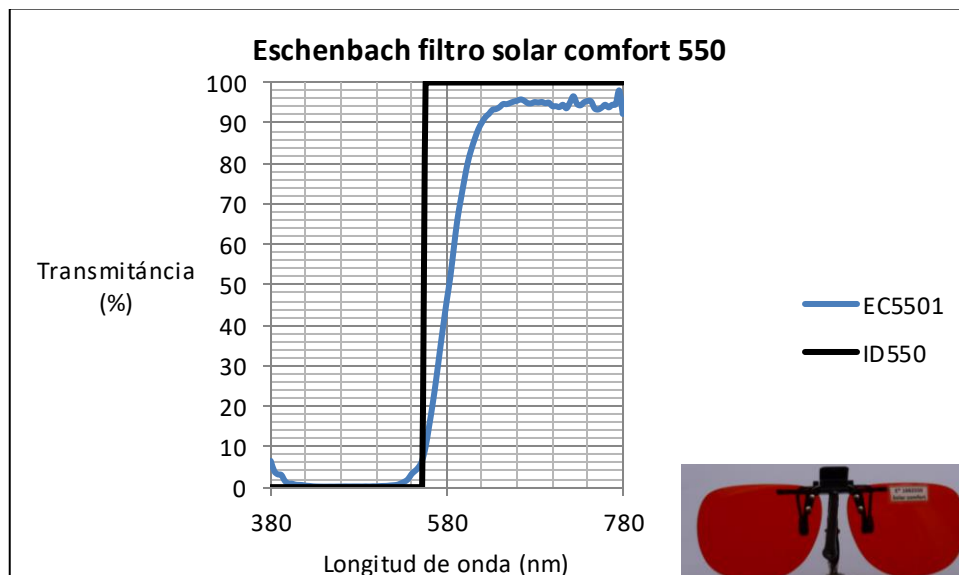


Figura A 32. Representación gráfica comparativa del filtro Eschenbach Solar Comfort 550 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

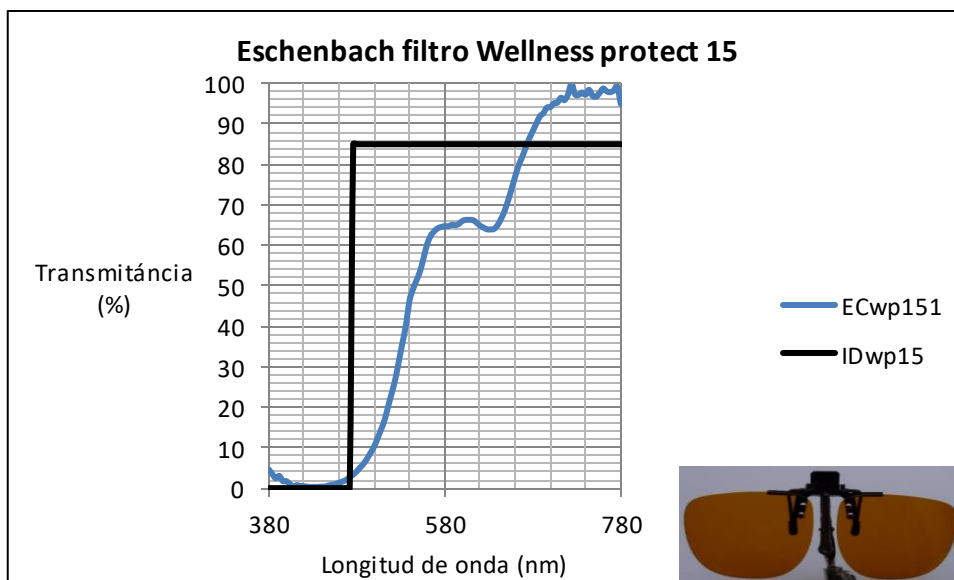


Figura A 33. Representación gráfica comparativa del filtro Eschenbach Wellness protect 15 con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

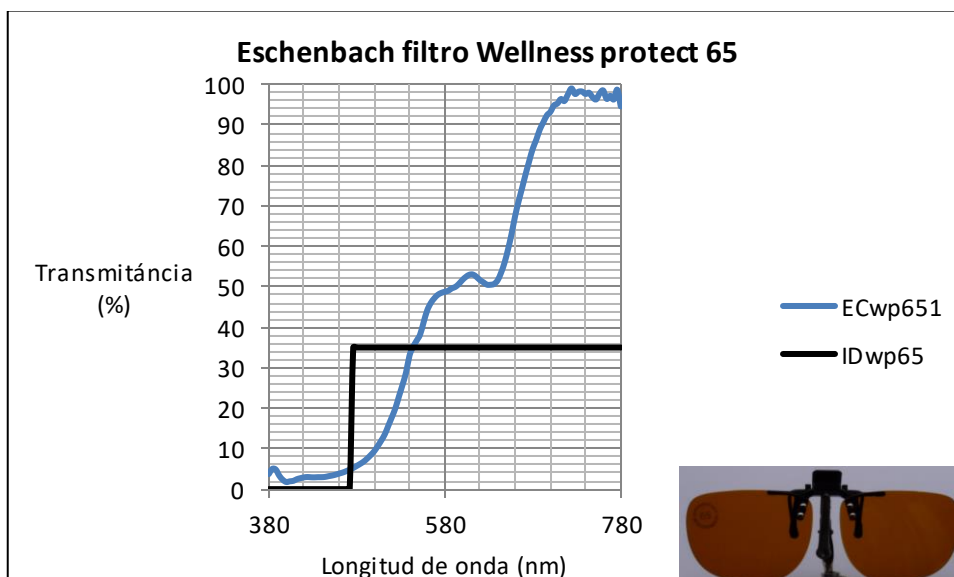


Figura A 34. Representación gráfica comparativa del filtro Eschenbach Wellness protect 65 con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

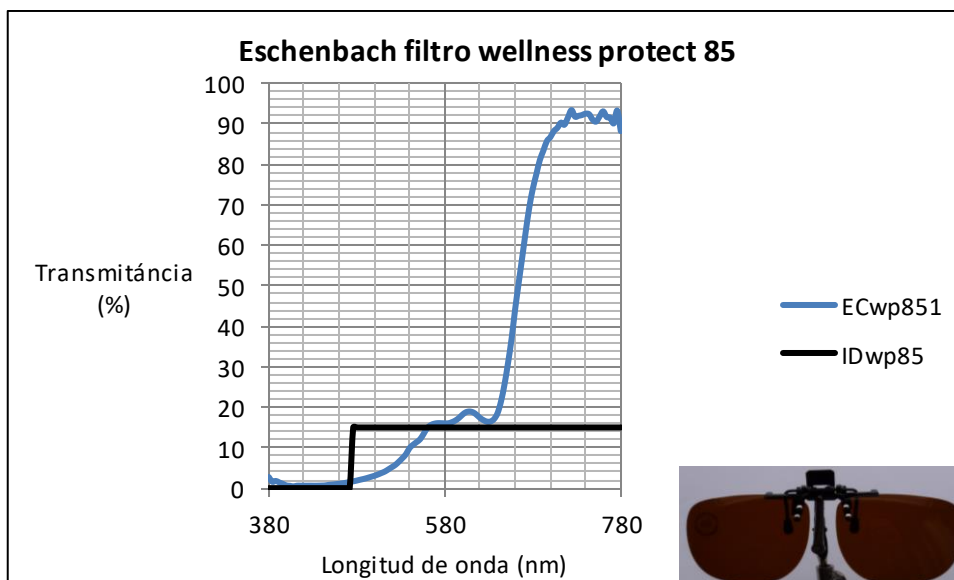


Figura A 35. Representación gráfica comparativa del filtro Eschenbach Wellness protect 85 con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

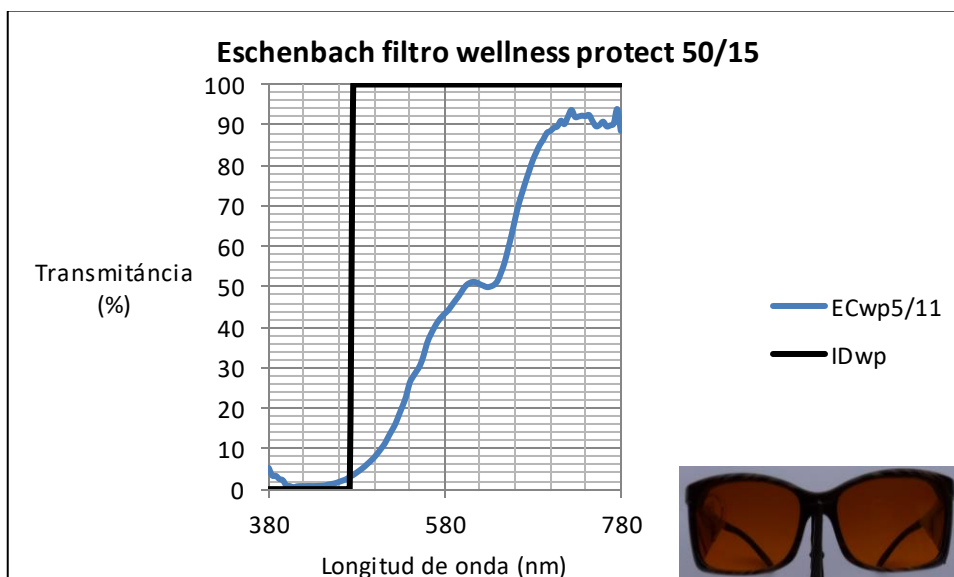


Figura A 36. Representación gráfica comparativa del filtro Eschenbach Wellness protect 50/15 con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

Anexo 3.4. Essilor

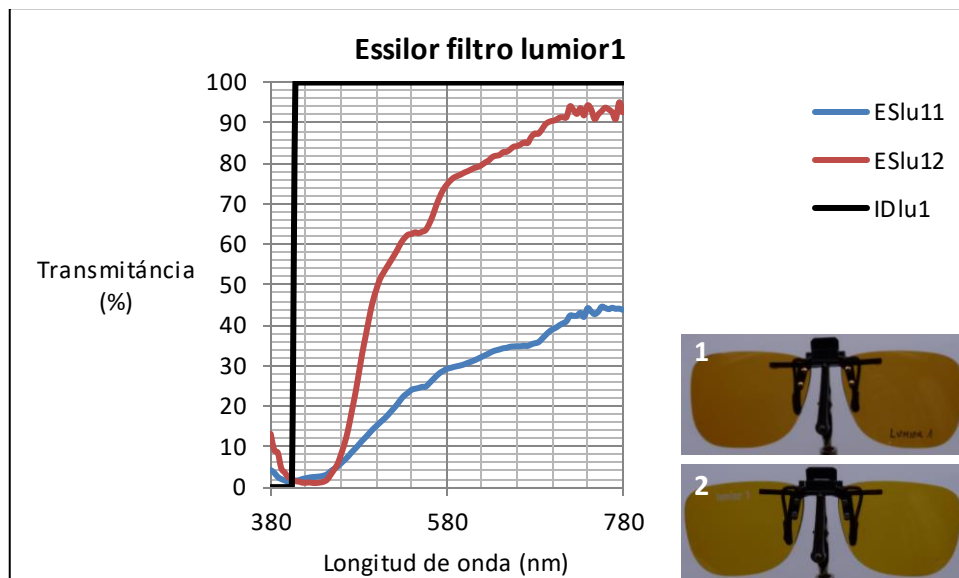


Figura A 37. Representació gràfica comparativa del filtre Essilor lumior 1 con el filtre ideal. En el àngulo inferior dret image de la mostra utilitzada.

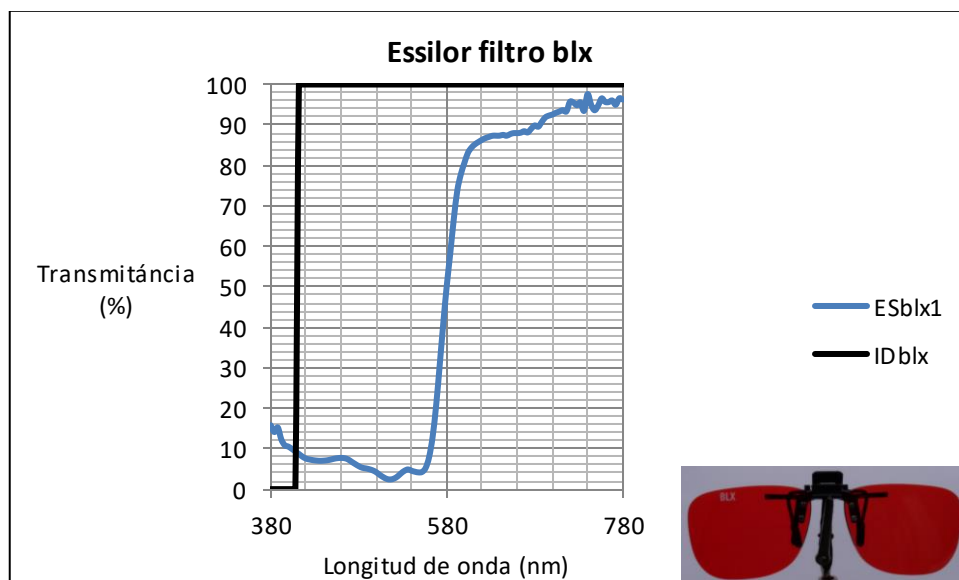


Figura A 38. Representació gràfica comparativa del filtre Essilor blx con el filtre ideal. En el àngulo inferior dret image de la mostra utilitzada.

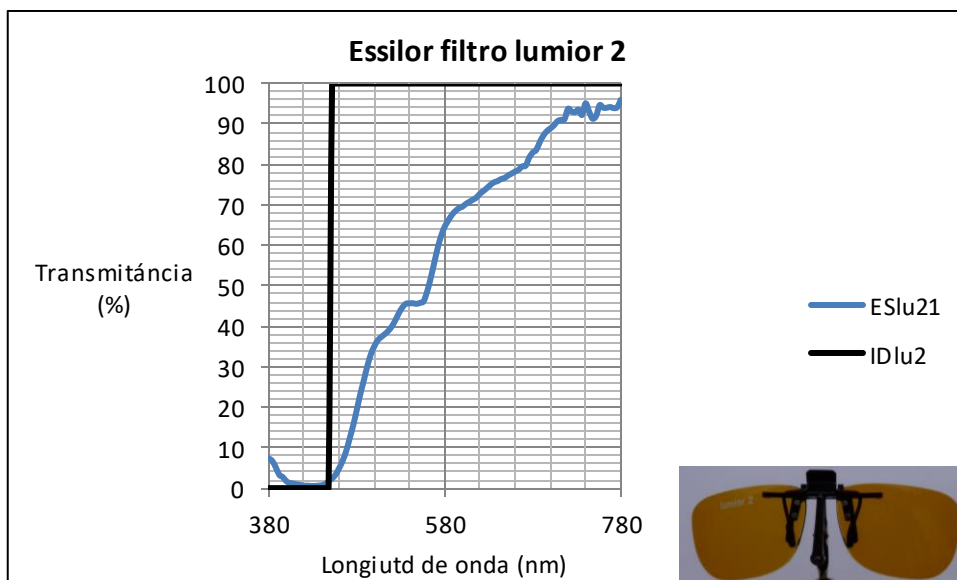


Figura A 39. Representación gráfica comparativa del filtro Essilor lumior 2 con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

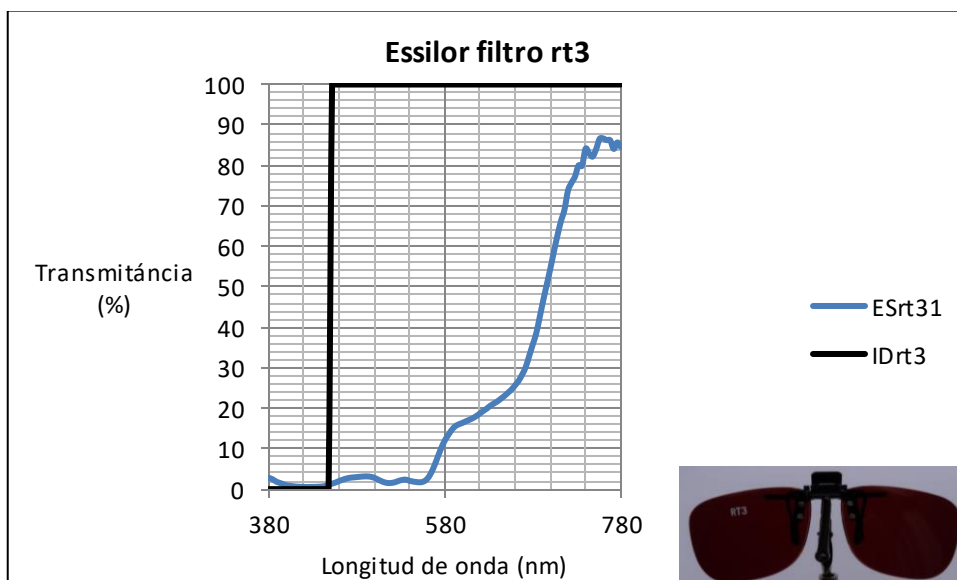


Figura A 40. Representación gráfica comparativa del filtro Essilor rt3 con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

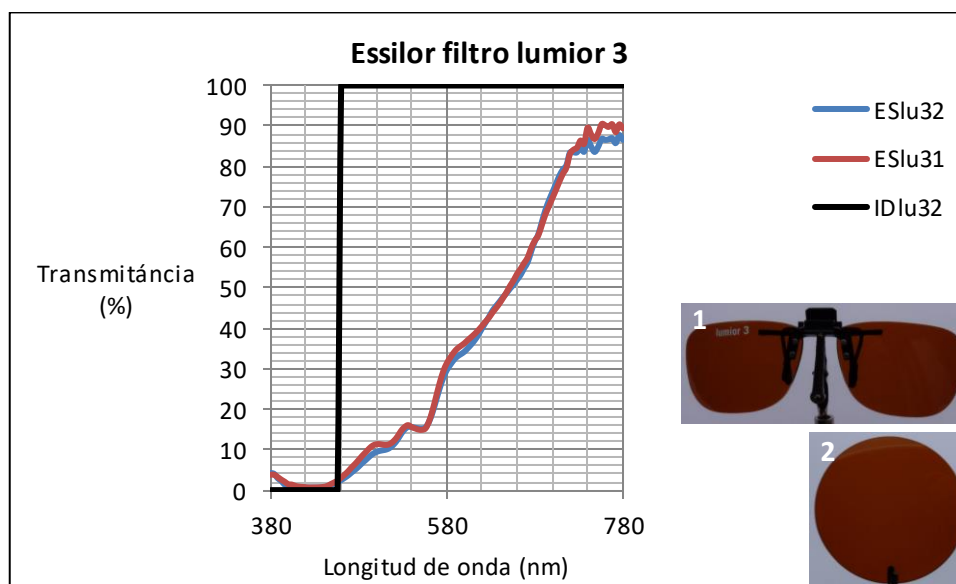


Figura A 41. Representación gráfica comparativa de las muestras del filtro Essilor lumior 3 con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

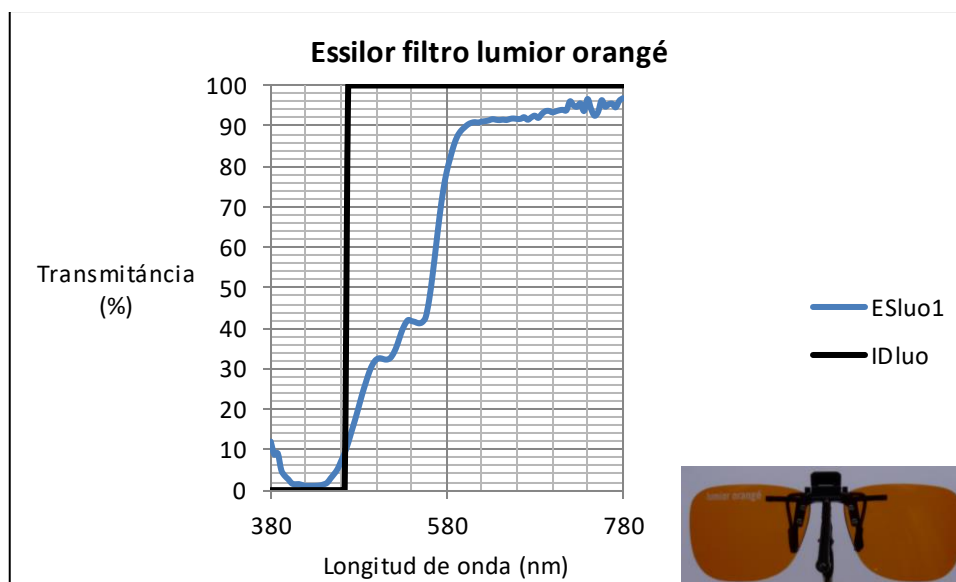


Figura A 42. Representación gráfica comparativa del filtro Essilor orangé con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

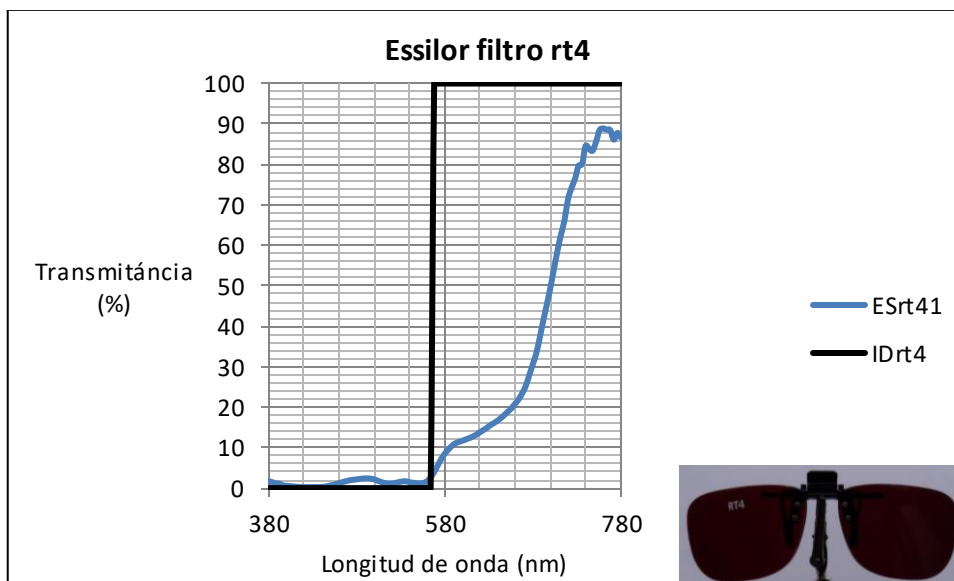


Figura A 43. Representació gràfica comparativa del filtre Essilor rt4 amb el filtre ideal. En el àngulo inferior dret imatge de la mostra utilitzada.

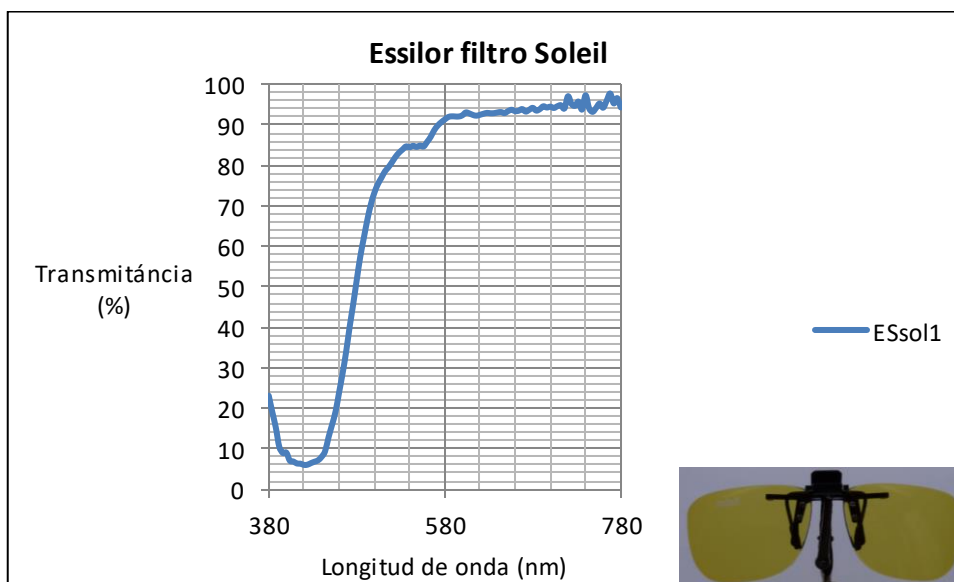


Figura A 44. Representació gràfica comparativa del filtre Essilor Soleil amb el filtre ideal. En el àngulo inferior dret imatge de la mostra utilitzada.

Anexo 3.5. INDO

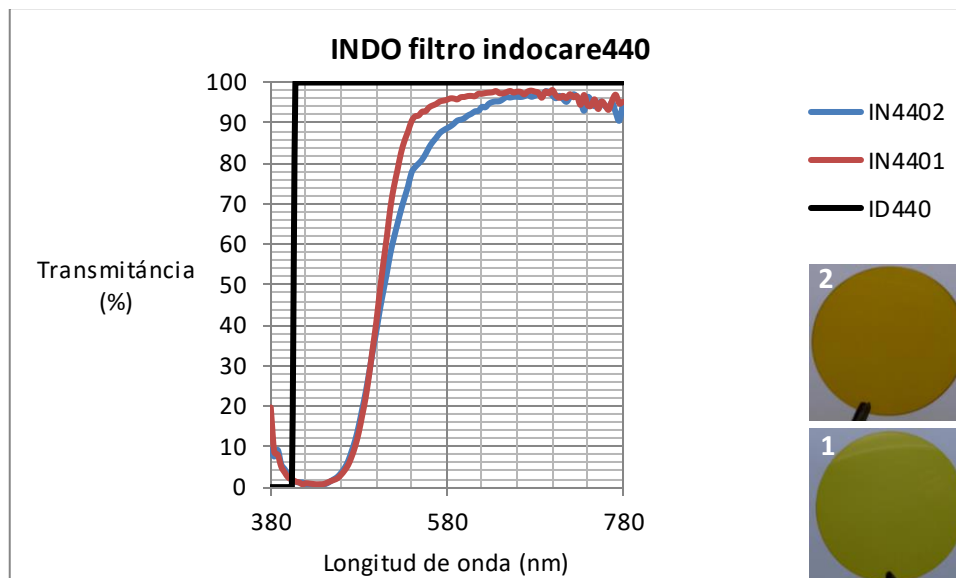


Figura A 45. Representación gráfica comparativa de las muestras del filtro INDO indocare 400 con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

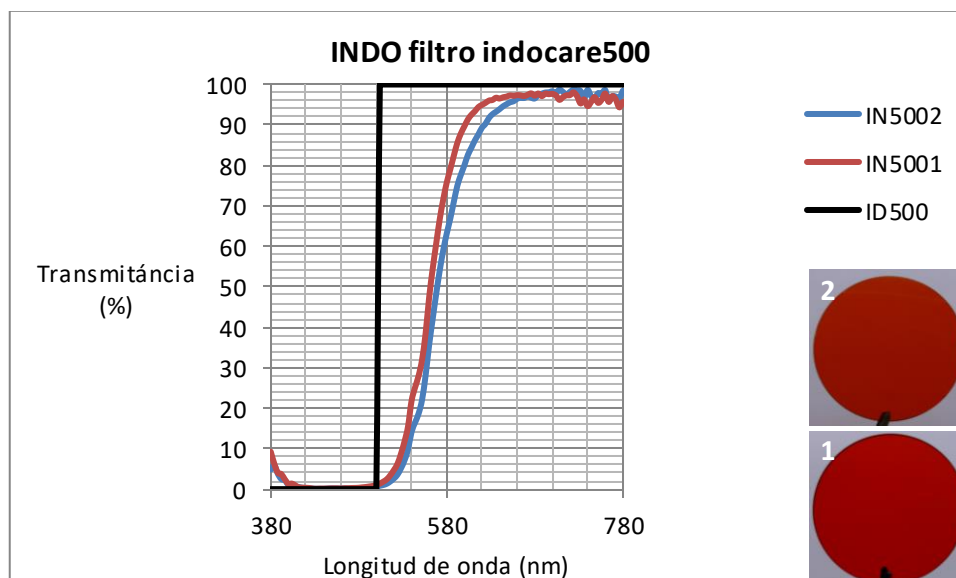


Figura A 46. Representación gráfica comparativa de las muestras del filtro INDO indocare 500 con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

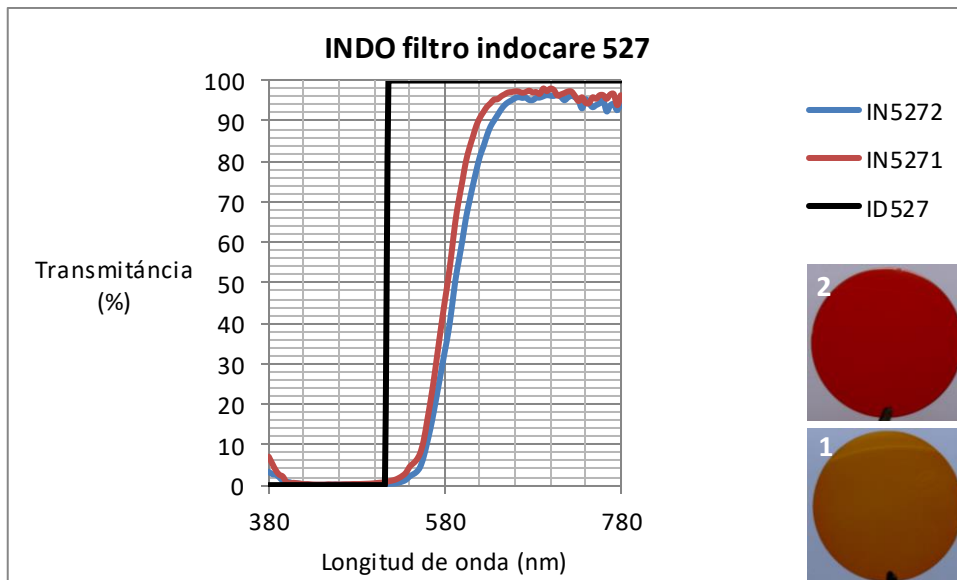


Figura A 47. Representación gráfica comparativa de las muestras del filtro INDO indocare 527 con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

Anexo 3.6. Naturlens

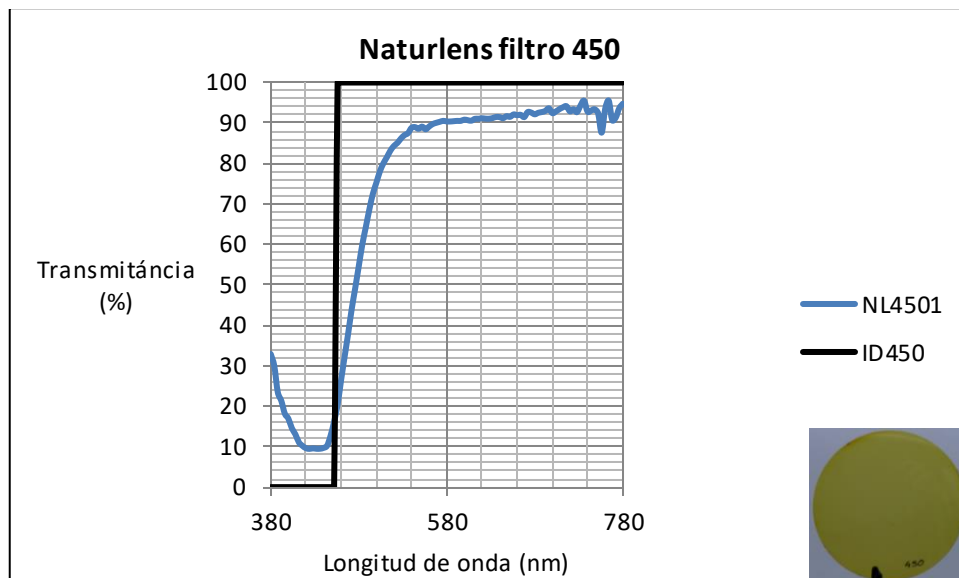


Figura A 48. Representación gráfica comparativa del filtro Naturlens 450 con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

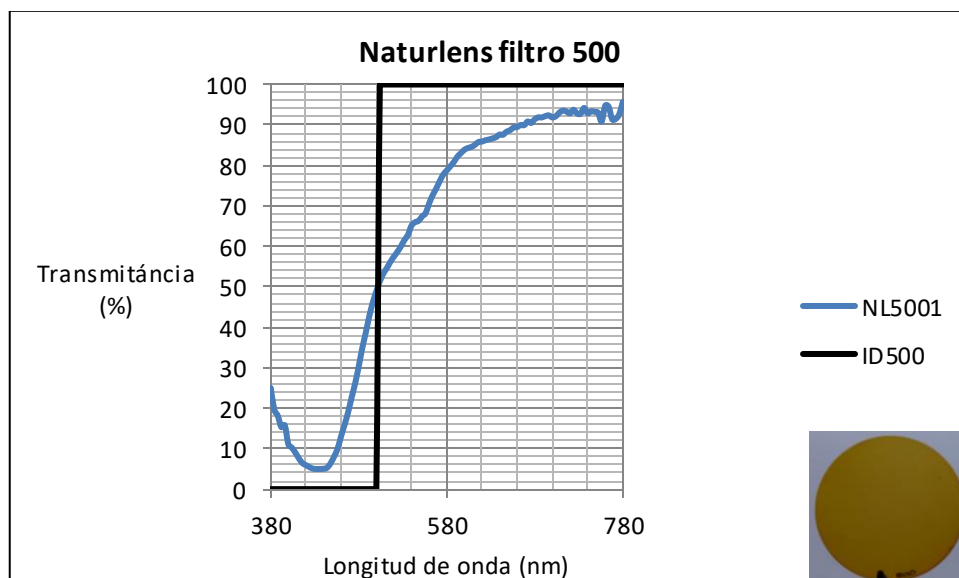


Figura A 49. Representación gráfica comparativa del filtro Naturlens 500 nm. con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

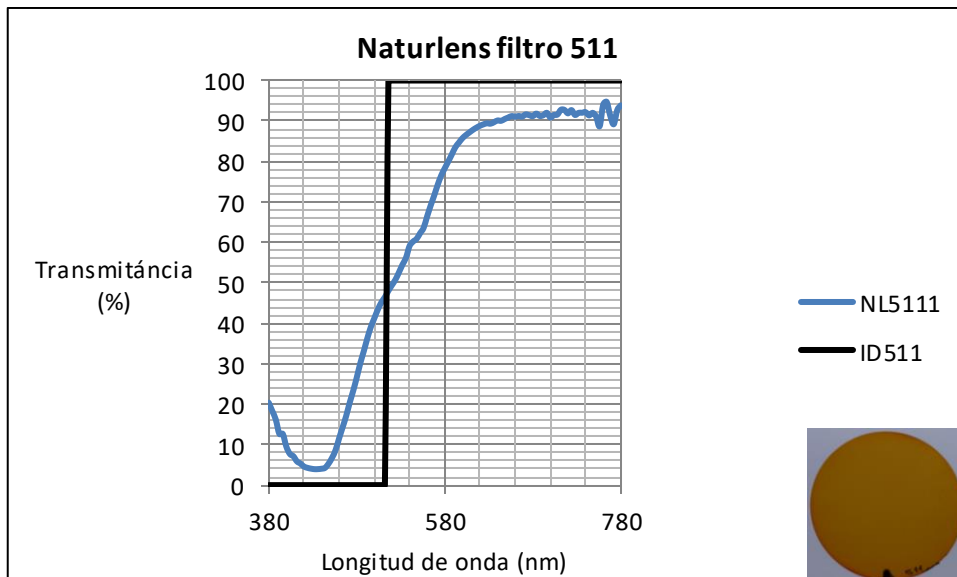


Figura A 50. Representació gràfica comparativa del filtre Naturlens 511 nm con el filtre ideal. En el àngulo inferior dret heu imatge de la mostra utilitzada.

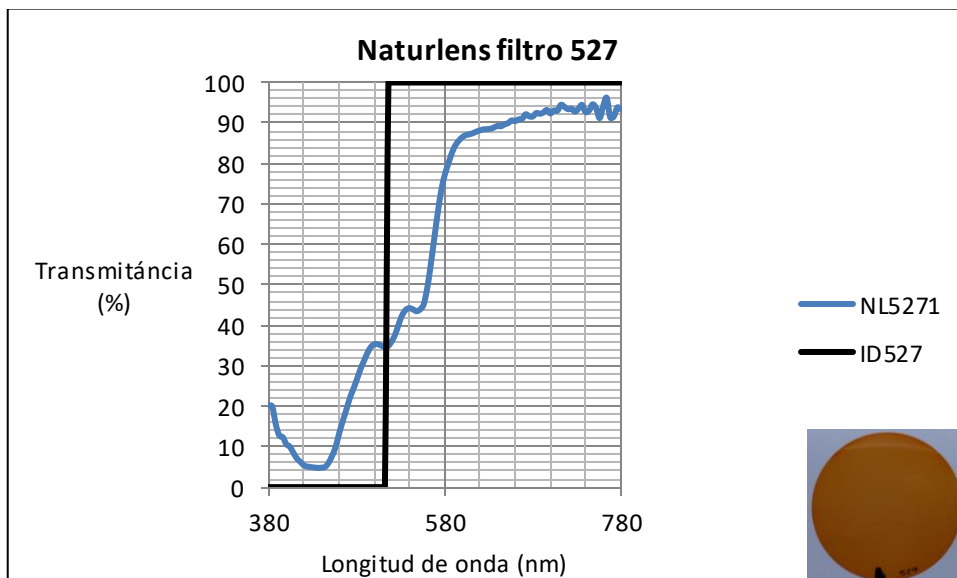


Figura A 51. Representació gràfica comparativa del filtre Naturlens 527 nm con el filtre ideal. En el àngulo inferior dret heu imatge de la mostra utilitzada.

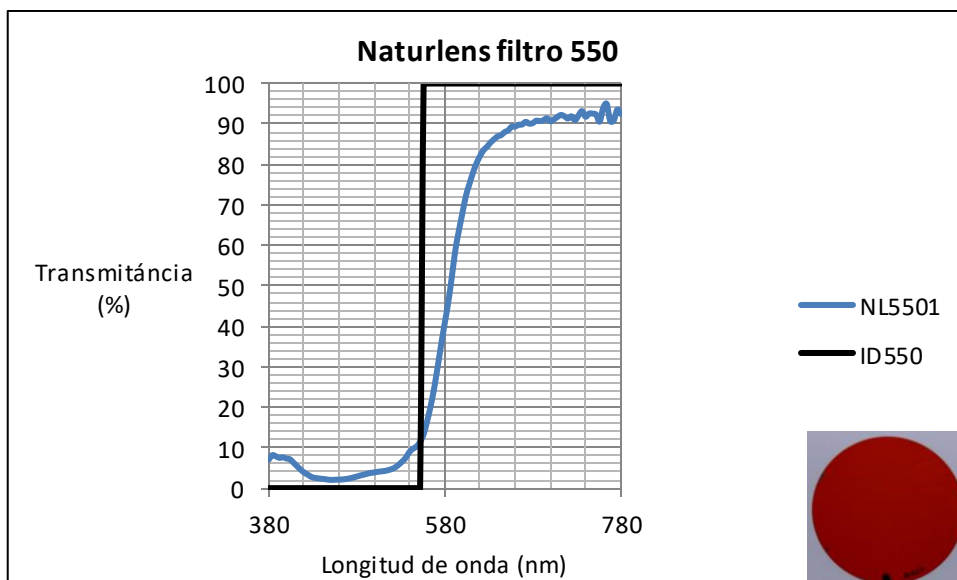


Figura A 52. Representació gràfica comparativa del filtre Naturlens 550 nm amb el filtre ideal. En el àngulo inferior dret heu imatge de la mostra utilitzada.

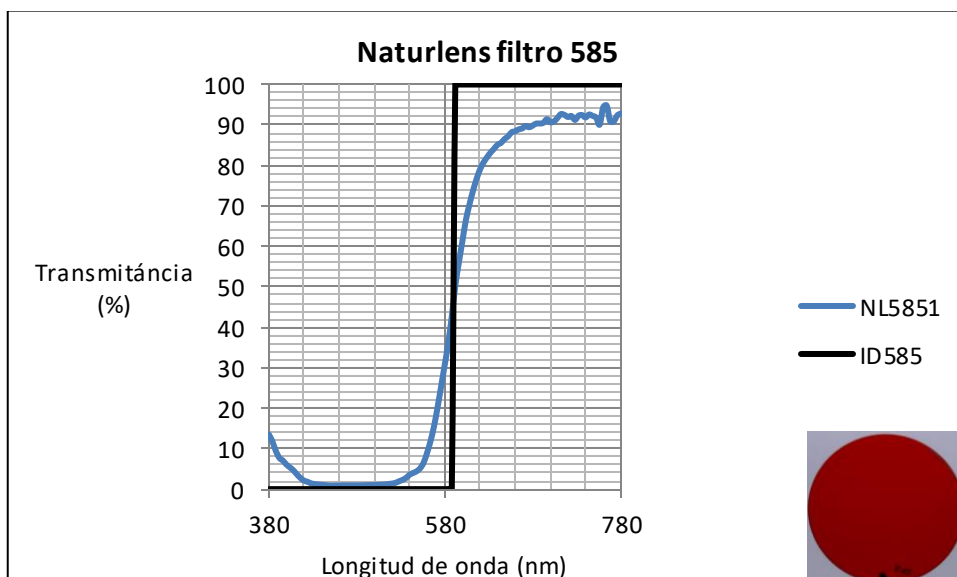


Figura A 53. Representació gràfica comparativa del filtre Naturlens 585 nm amb el filtre ideal. En el àngulo inferior dret heu imatge de la mostra utilitzada.

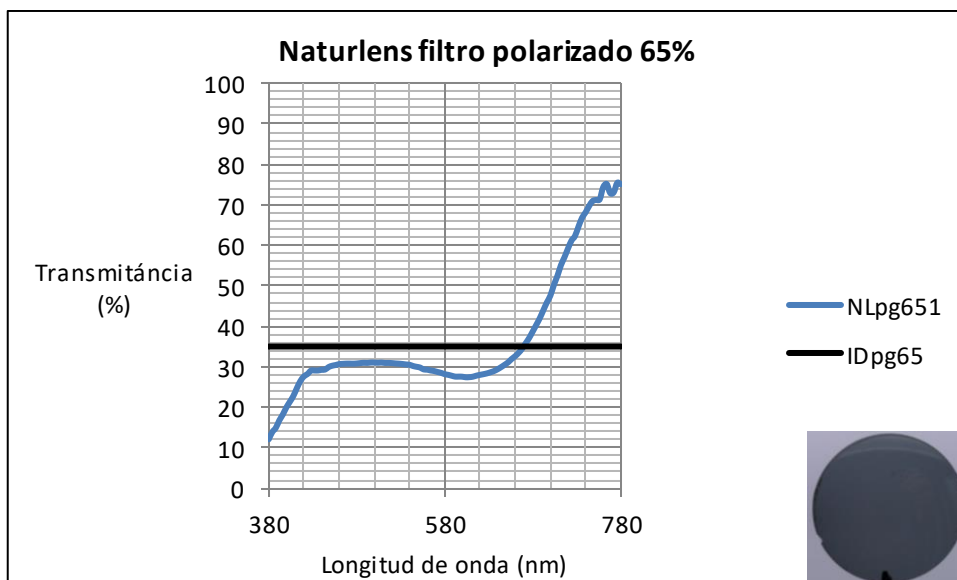


Figura A 54. Representación gráfica comparativa del filtro Naturlens polarizado 65% con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

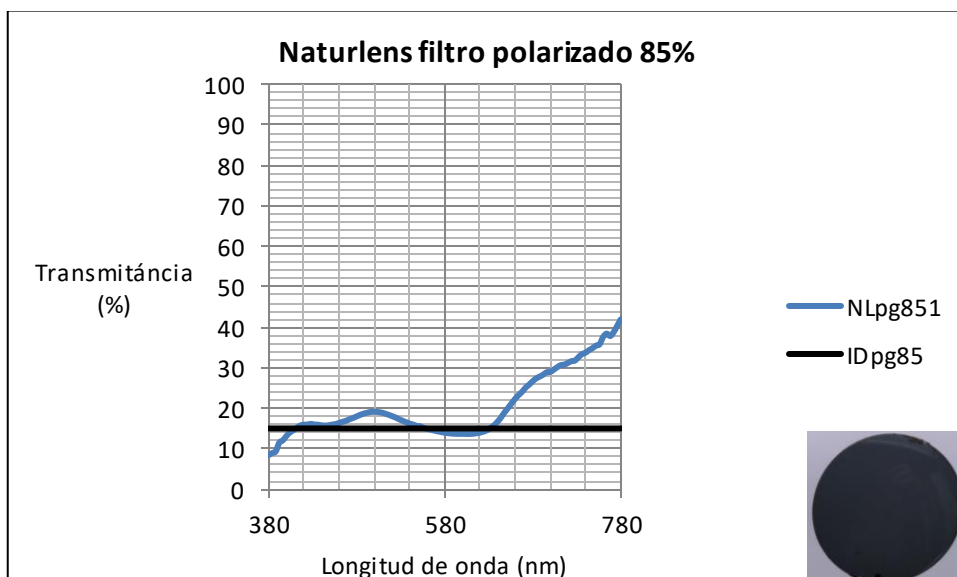


Figura A 55. Representación gráfica comparativa del filtro Naturlens polarizado 85% con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

Anexo 3.7. Prats

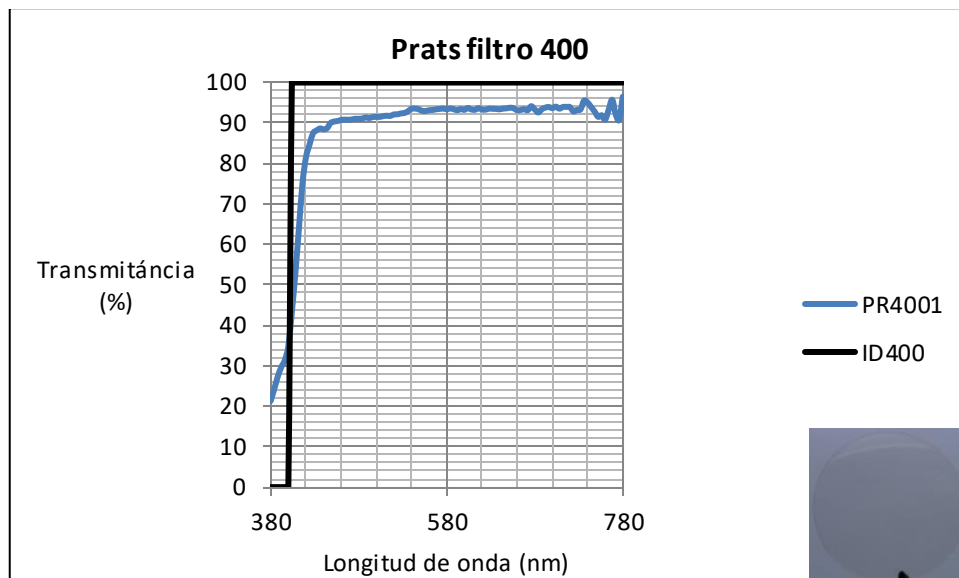


Figura A 56. Representación gráfica comparativa del filtro Prats 400 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

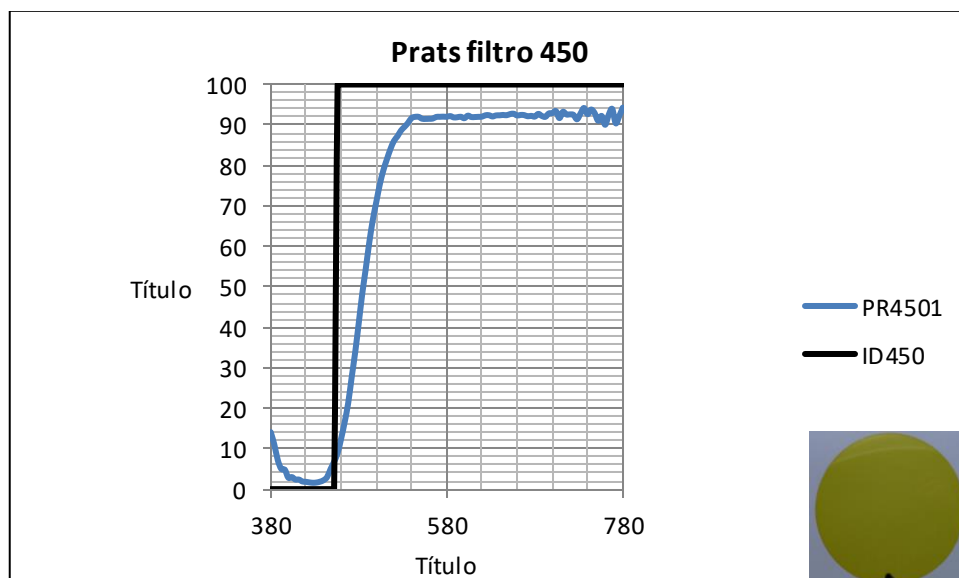


Figura A 57. Representación gráfica comparativa del filtro Prats 450 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

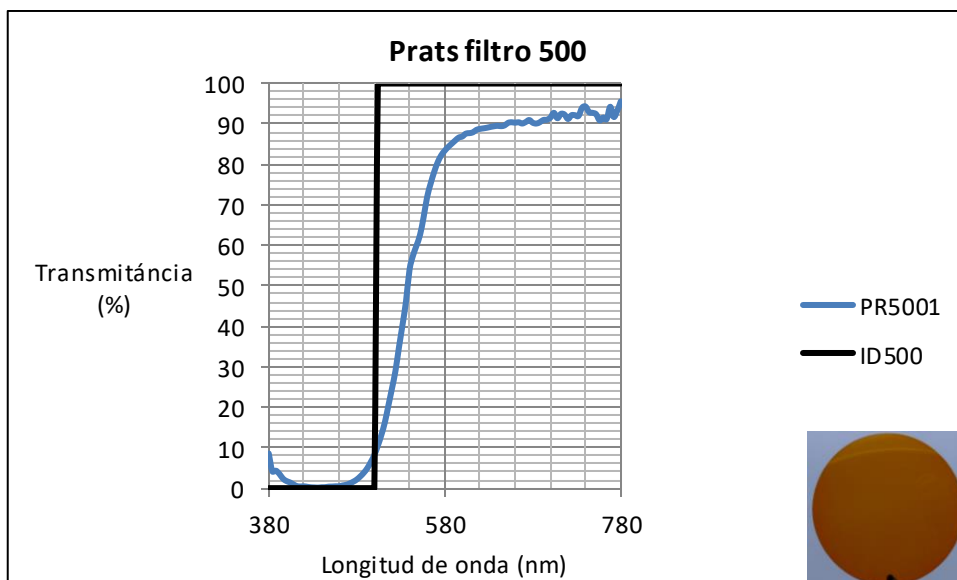


Figura A 57. Representación gráfica comparativa del filtro Prats 500 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

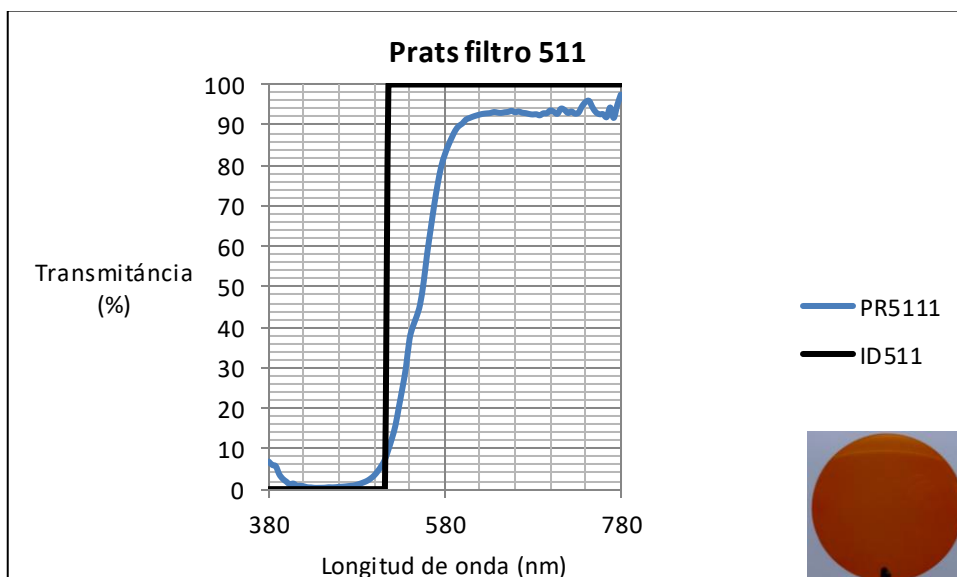


Figura A 59. Representación gráfica comparativa del filtro Prats 511 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

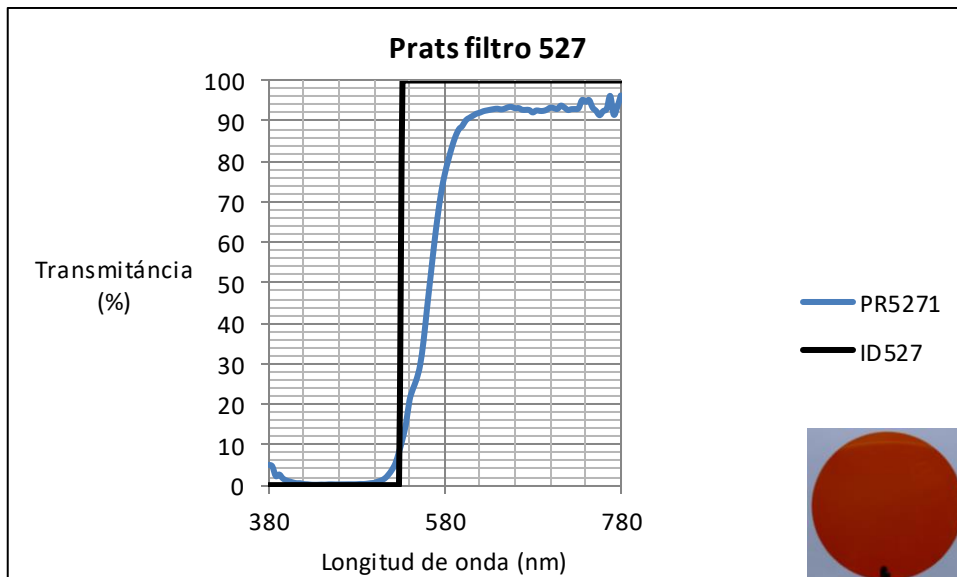


Figura A 60. Representación gráfica comparativa del filtro Prats 527 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

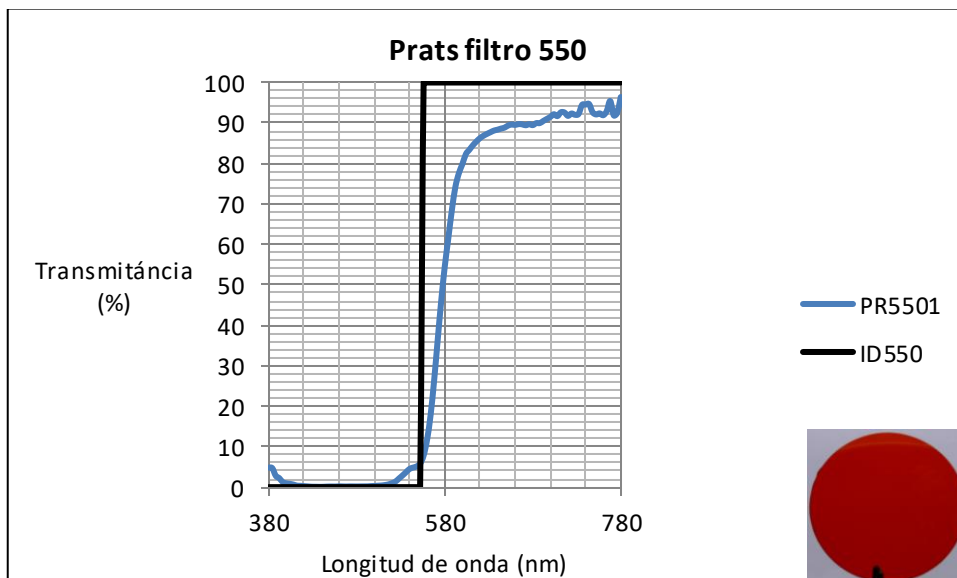


Figura A 61. Representación gráfica comparativa del filtro Prats 550 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

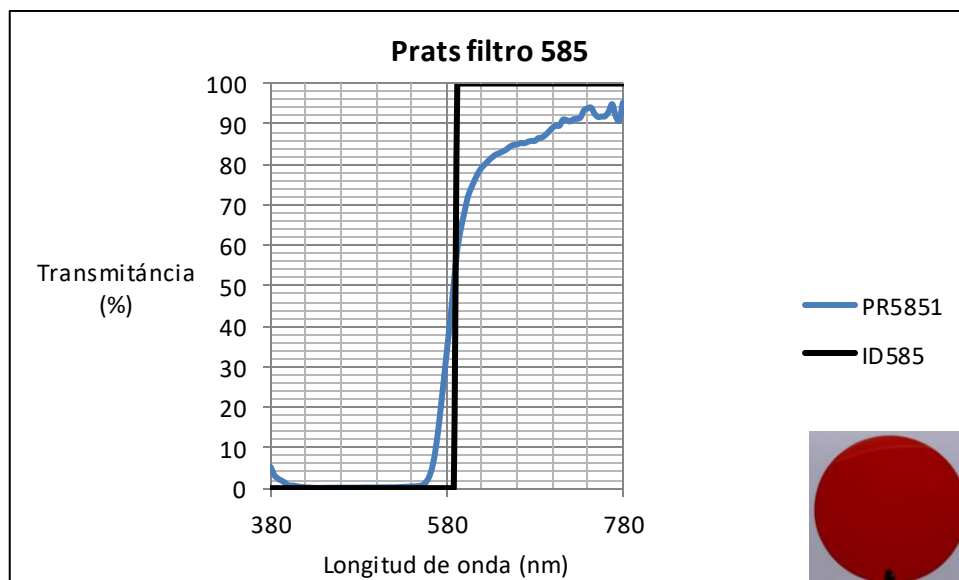


Figura A 62. Representación gráfica comparativa del filtro Prats 585 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

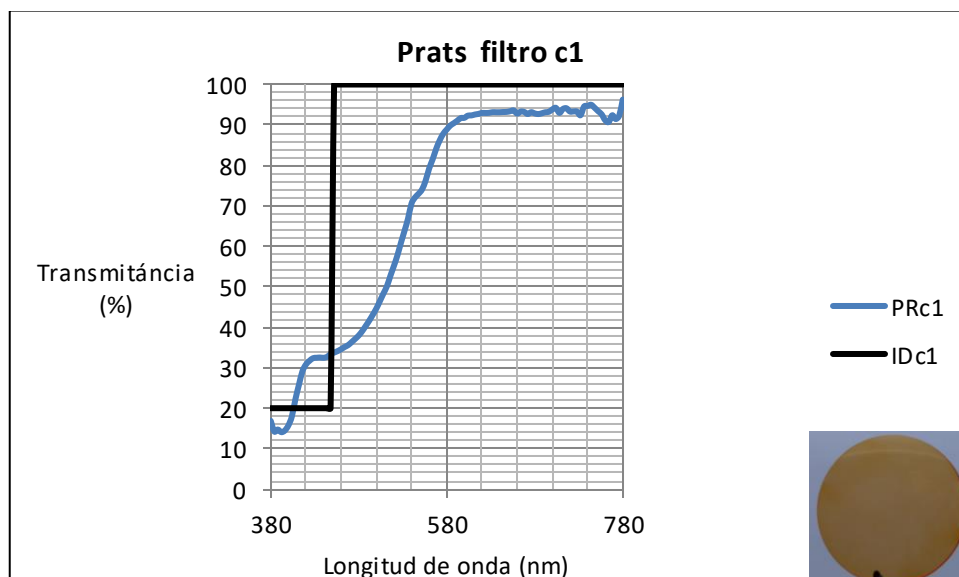


Figura A 63. Representación gráfica comparativa del filtro Prats C1 con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

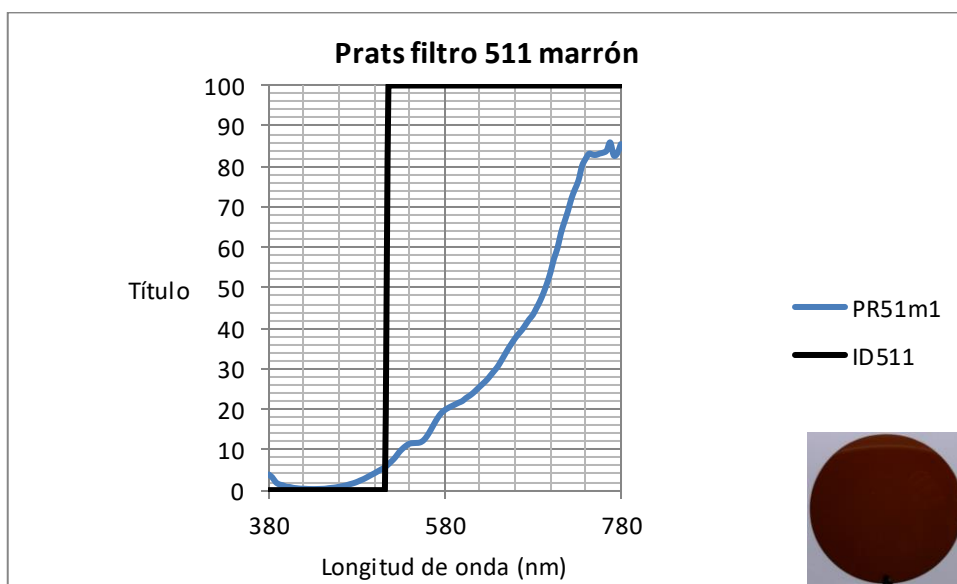


Figura A 64. Representación gráfica comparativa del filtro Prats 511 marrón con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

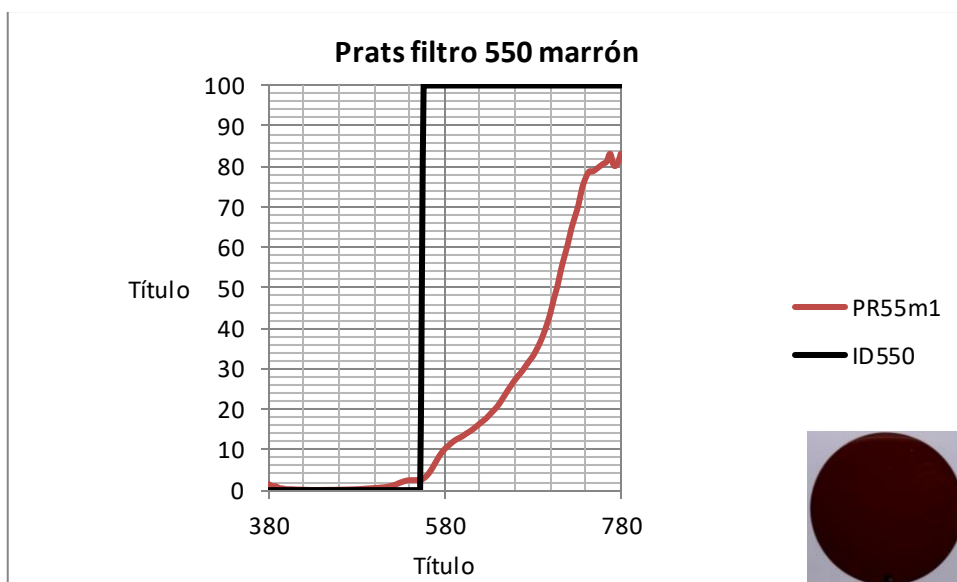
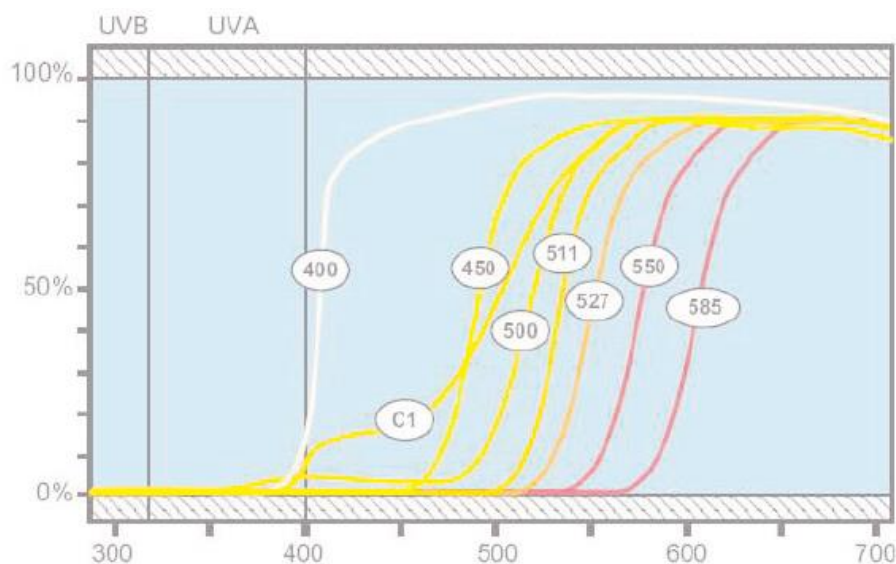


Figura A 65. Representación gráfica comparativa del filtro Prats 550 marrón con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

Anexo 3.8. Recoletos



A.66. Representación gráfica comparativa de los filtros C1, 400, 450, 500, 511, 527, 550, 585 de la casa Recoletos aportado por ellos mismos. En el eje x la longitud de onda. En el eje y la transmitancia.

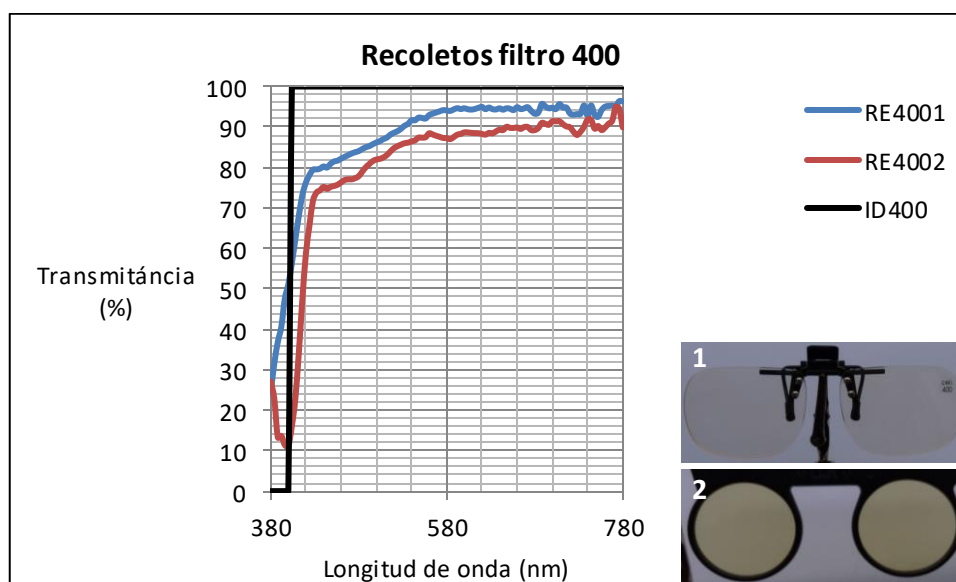


Figura A 67. Representación gráfica comparativa de las muestras del filtro Recoletos 400nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

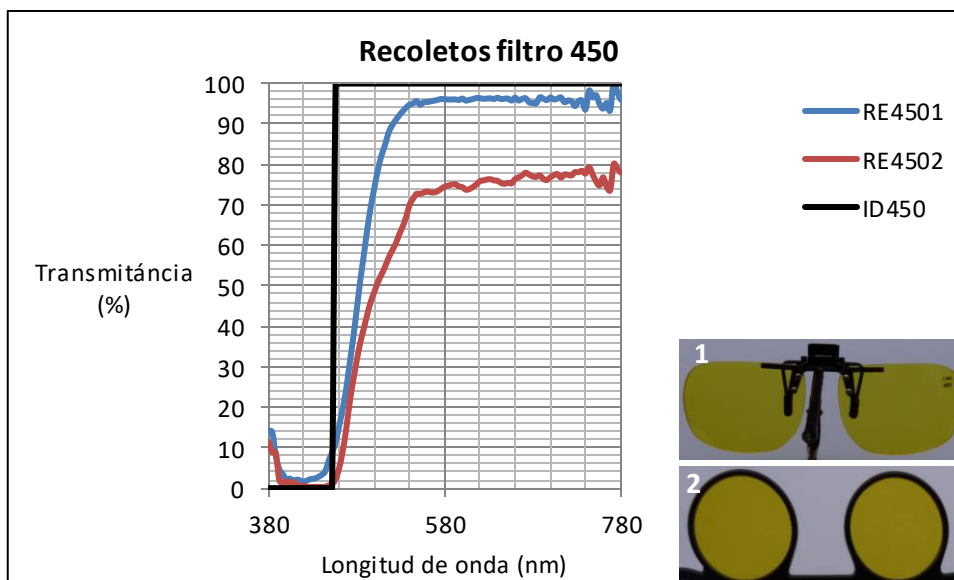


Figura A 68. Representación gráfica comparativa de las muestras del filtro Recoletos 450 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

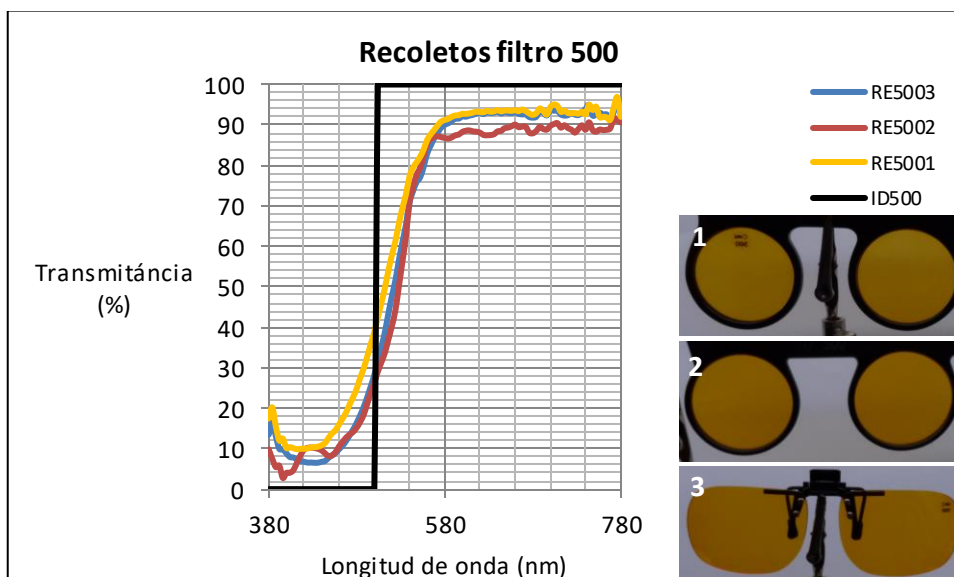


Figura A 69. Representación gráfica comparativa de las muestras del filtro Recoletos 500 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

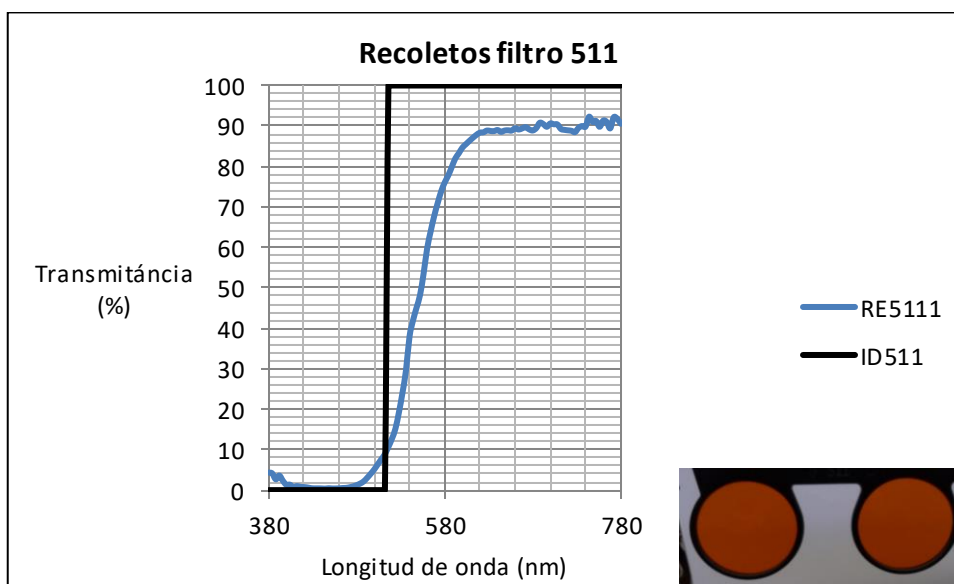


Figura A 70. Representación gráfica comparativa del filtro Recoletos 511 con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

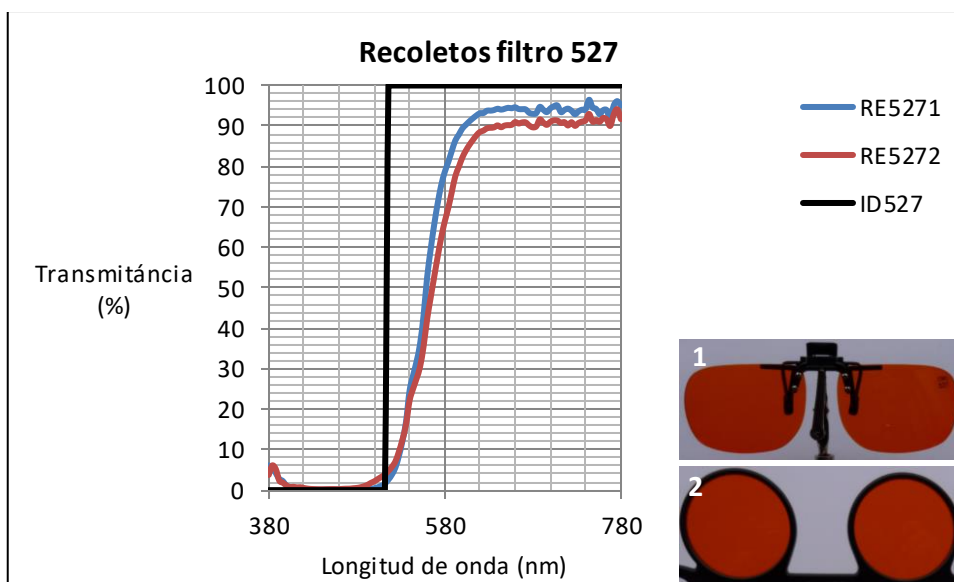


Figura A 71. Representación gráfica comparativa de las muestras del filtro Recoletos 527 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

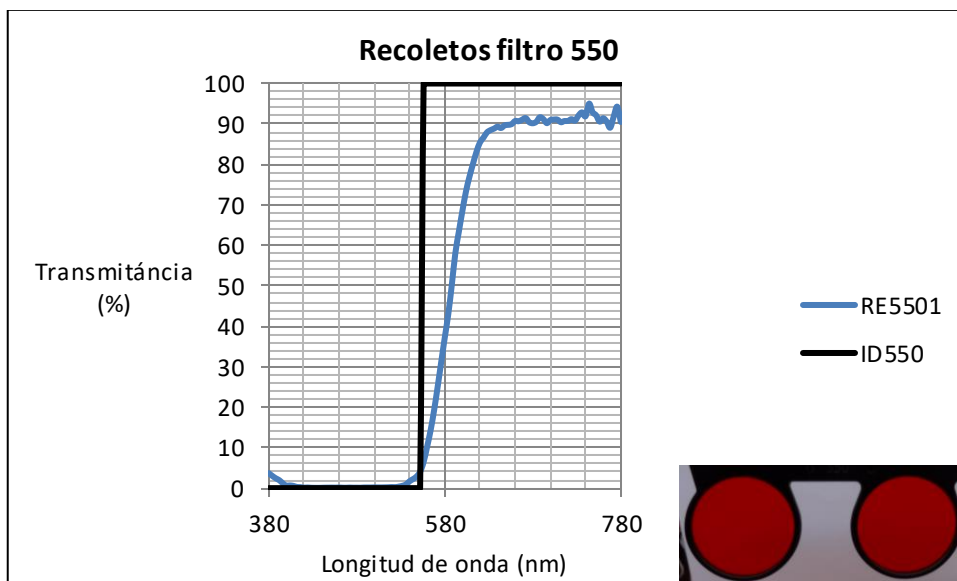


Figura A 72. Representación gráfica comparativa del filtro Recoletos 550 nm marrón con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

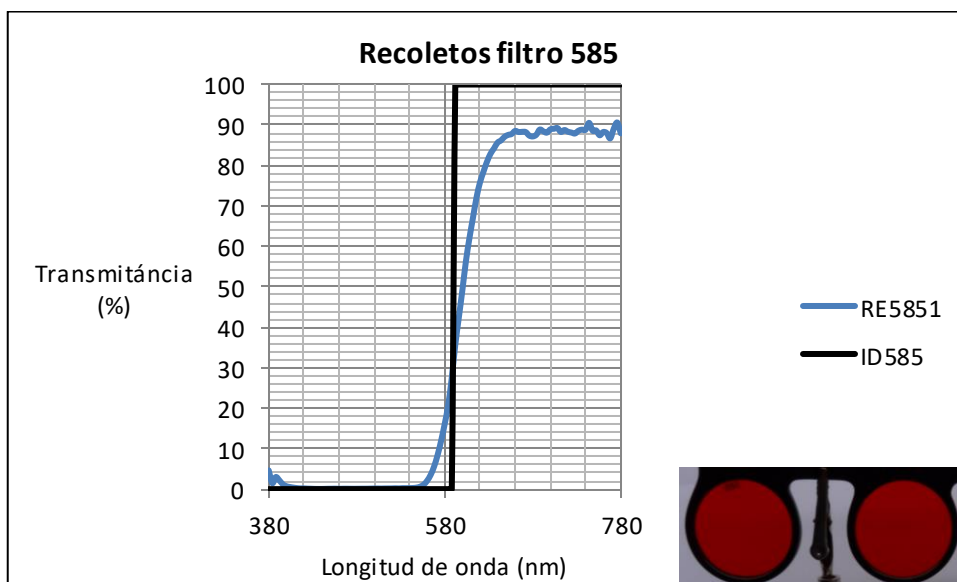


Figura A 73. Representación gráfica comparativa del filtro Recoletos 585 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

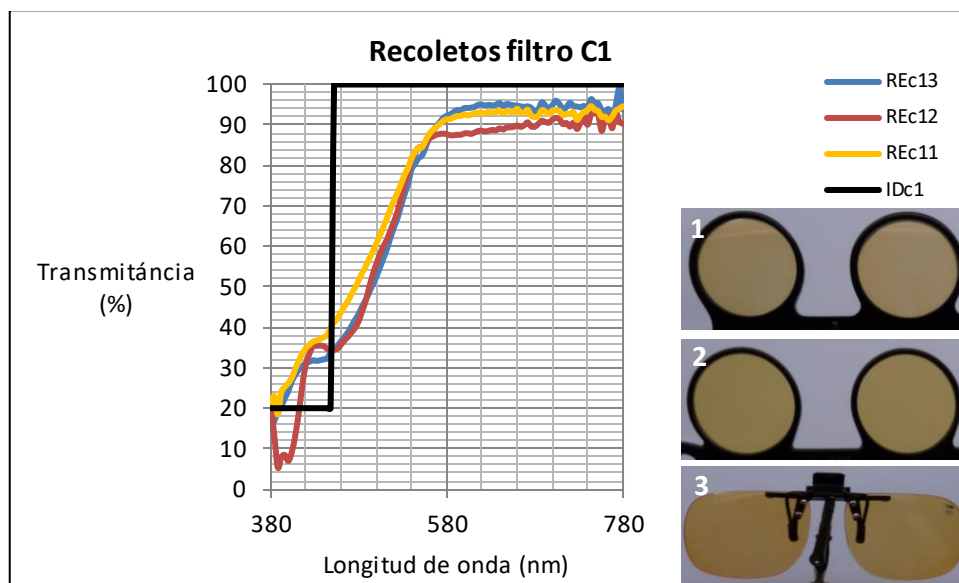


Figura A 74. Representación gráfica comparativa de las muestras del Recoletos C1 con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

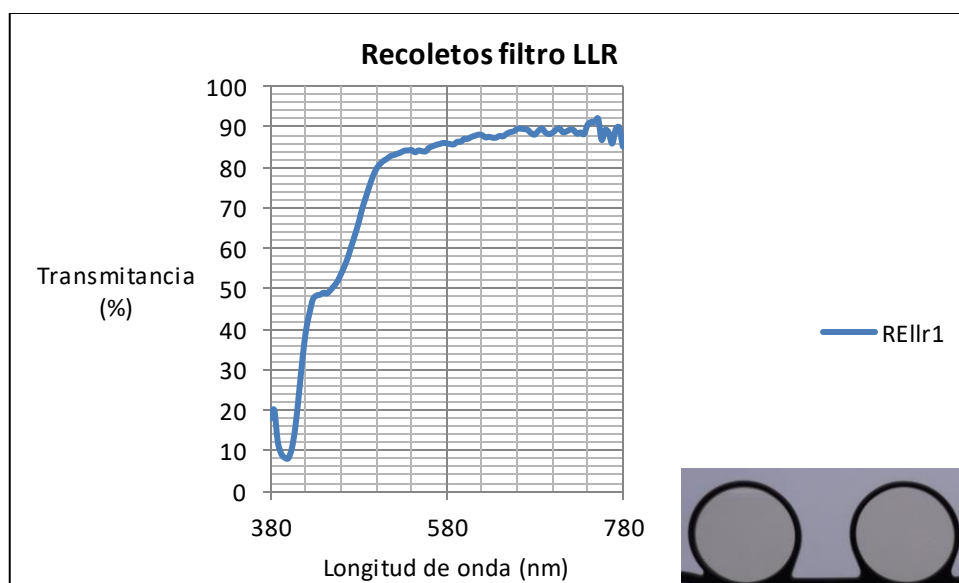


Figura A 75. Representación gráfica comparativa del filtro Recoletos LLR con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

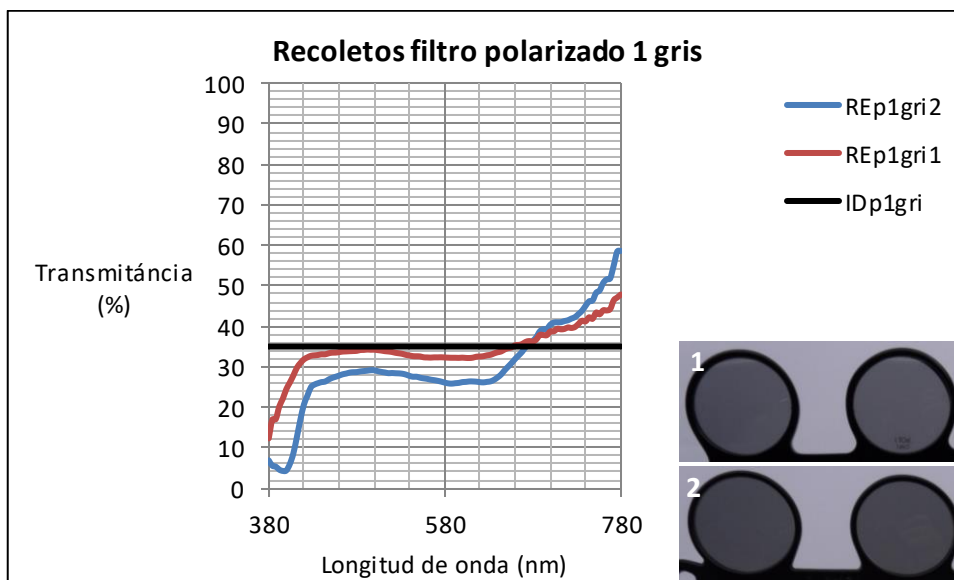


Figura A 76. Representación gráfica comparativa de las muestras del Recoletos polarizado 1 gris C1 con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

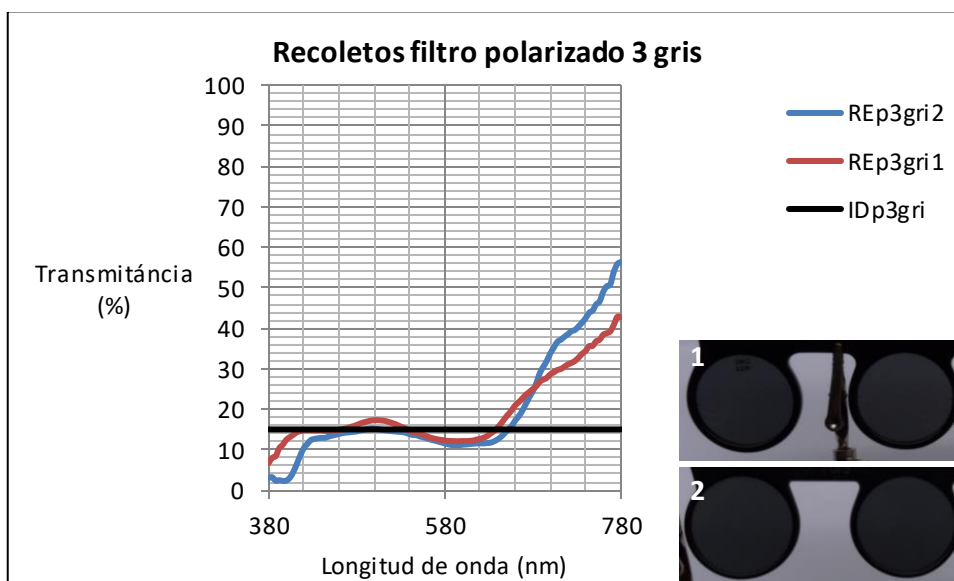


Figura A 77. Representación gráfica comparativa de las muestras del Recoletos polarizado 3 gris con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

Anexo 3.9. Zeiss

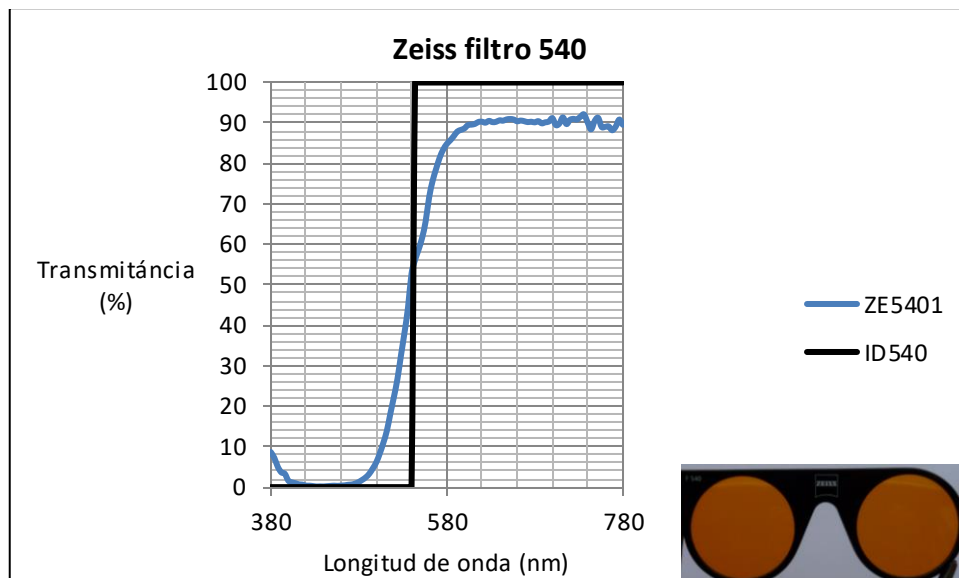


Figura A 78. Representació gràfica comparativa del filtre Zeiss 540 nm amb el filtre ideal. En el àngulo inferior dret imatge de la mostra utilitzada.

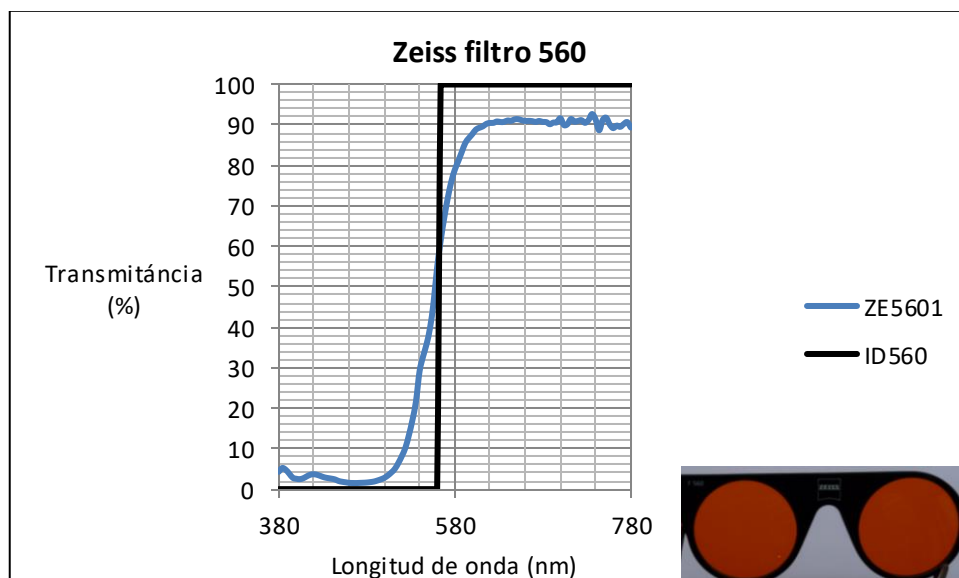


Figura A 79. Representació gràfica comparativa del filtre Zeiss 560 nm amb el filtre ideal. En el àngulo inferior dret imatge de la mostra utilitzada.

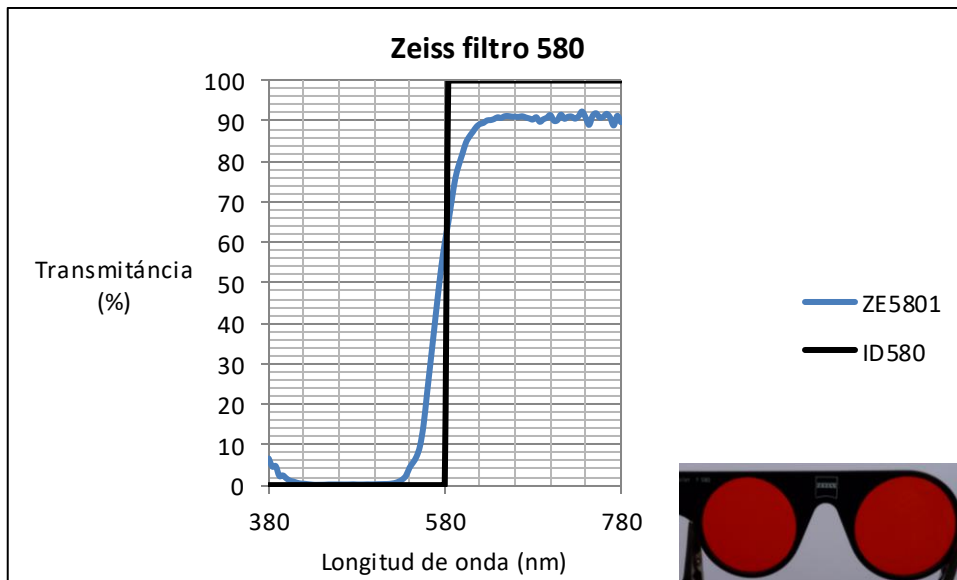


Figura A 80. Representación gráfica comparativa del filtro Zeiss 580 nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

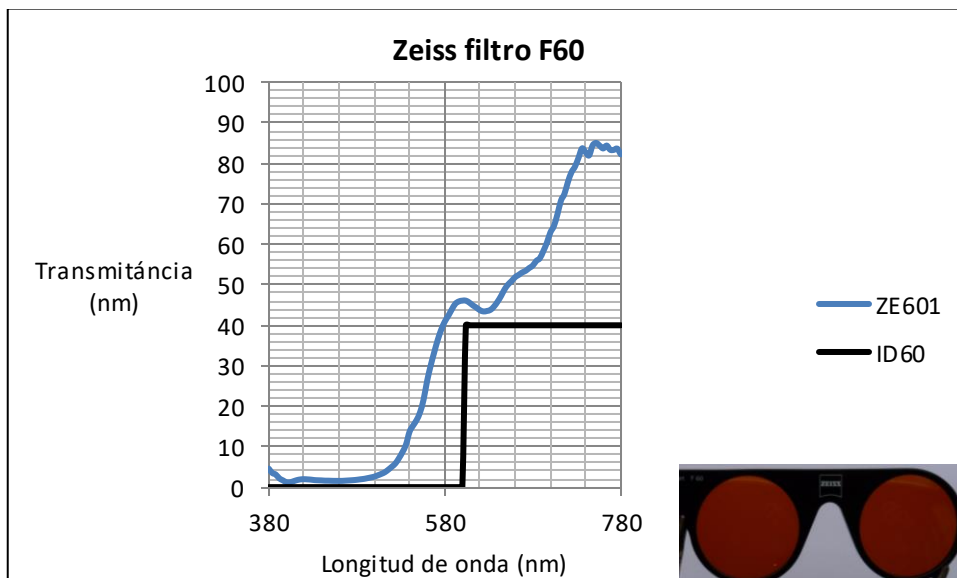


Figura A 81. Representación gráfica comparativa del filtro Zeiss F60 con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

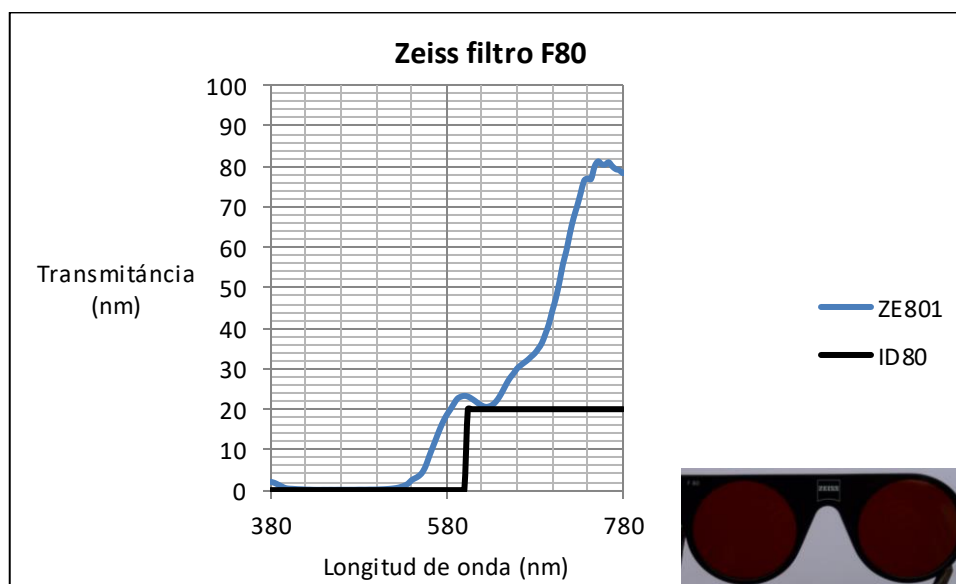


Figura A 82. Representación gráfica comparativa del filtro Zeiss F80 con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

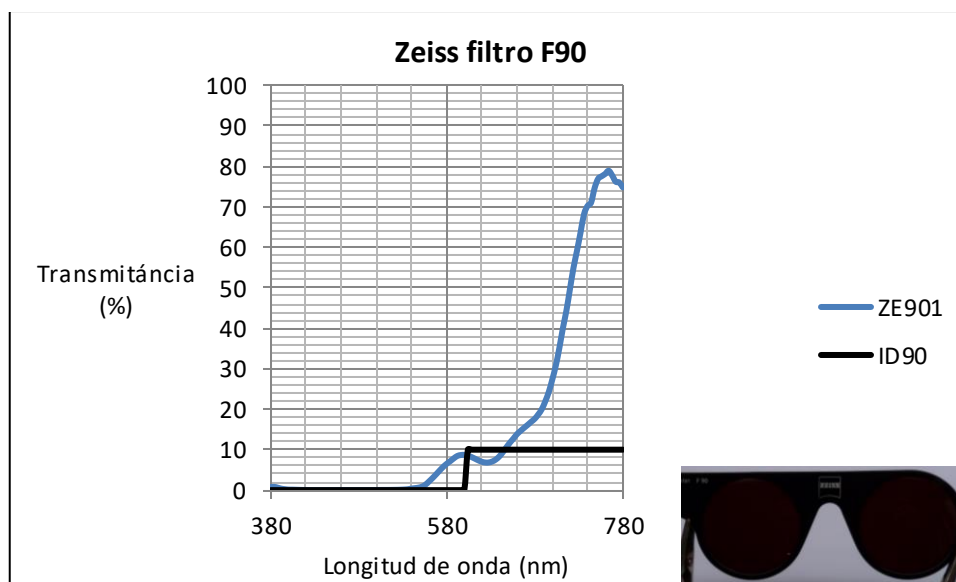


Figura A 83. Representación gráfica comparativa del filtro Zeiss F90 con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

Anexo 3.10. LEE

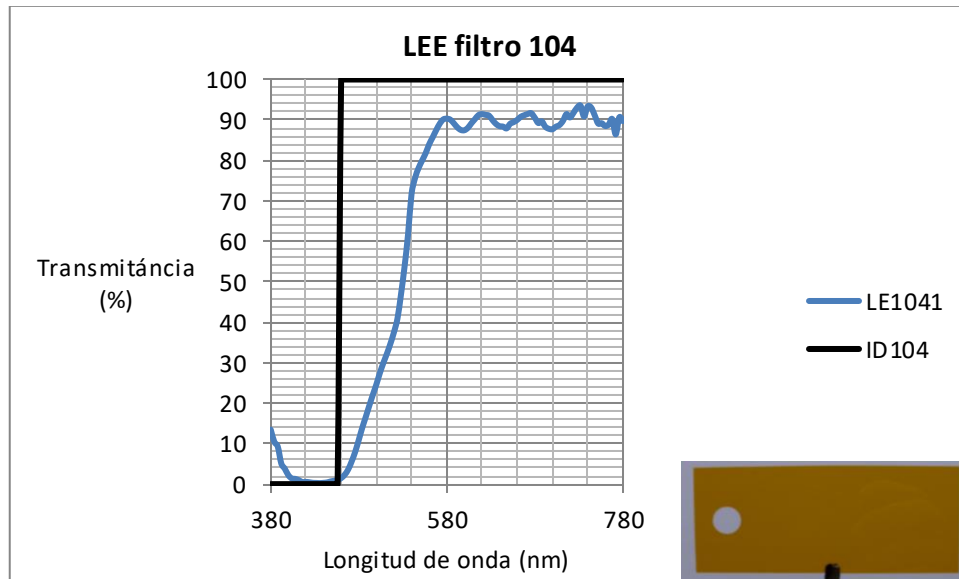
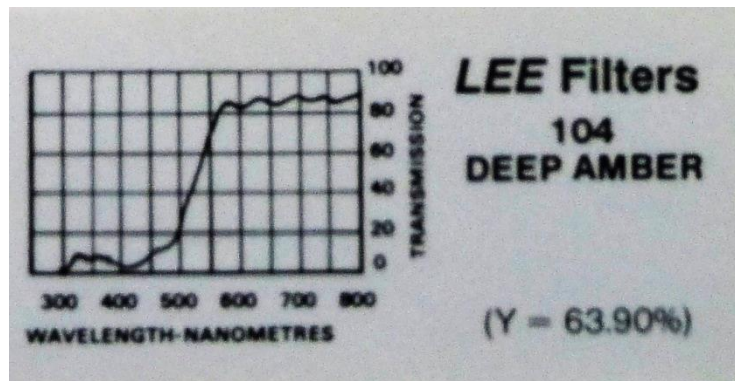


Figura A 84. Representación gráfica comparativa del filtro LEE 104 con longitud de onda de corte 460nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.



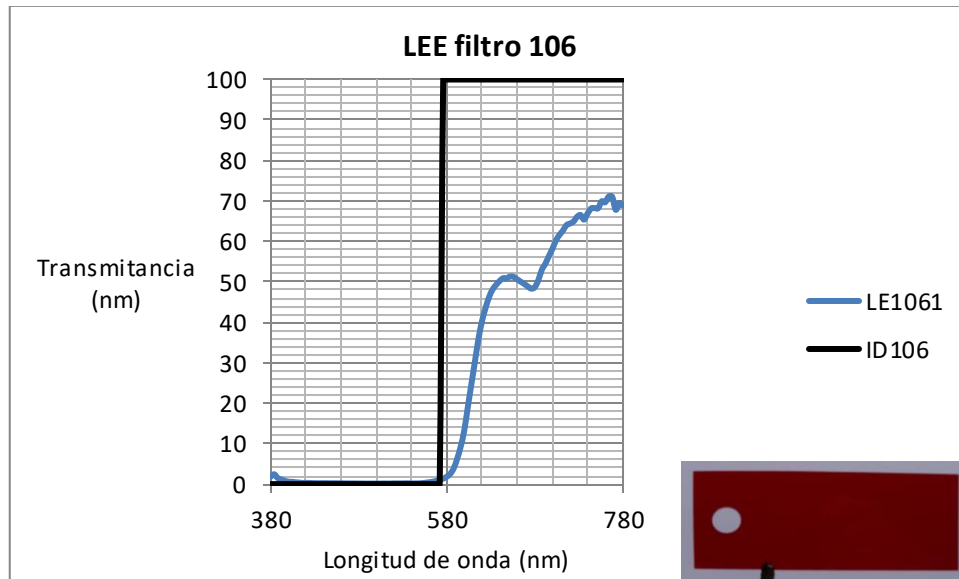
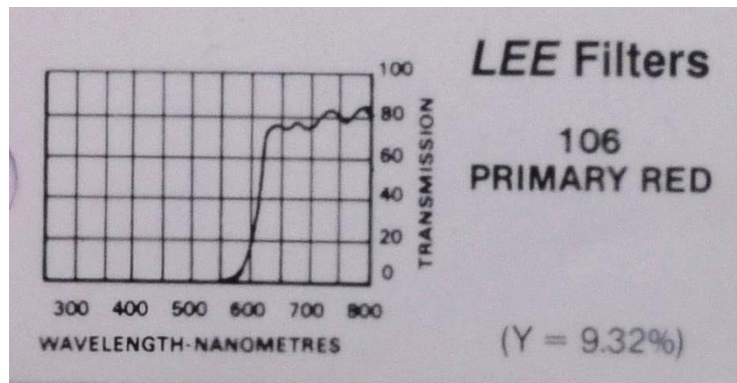


Figura A 85. Representación gráfica comparativa del filtro LEE 106 con longitud de onda de corte 576nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.



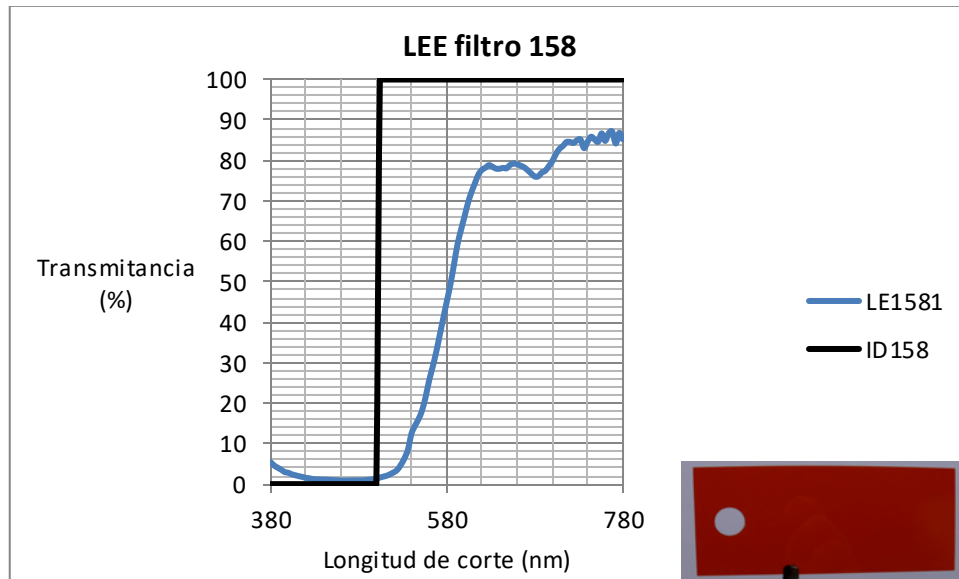
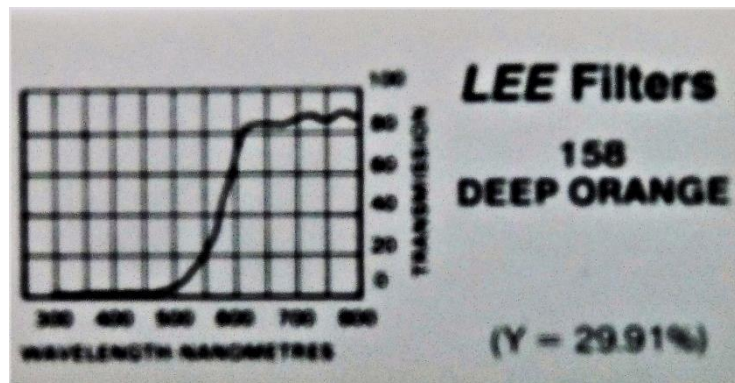


Figura A 86. Representación gráfica comparativa del filtro LEE 158 con longitud de onda de corte 500 nm. con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.



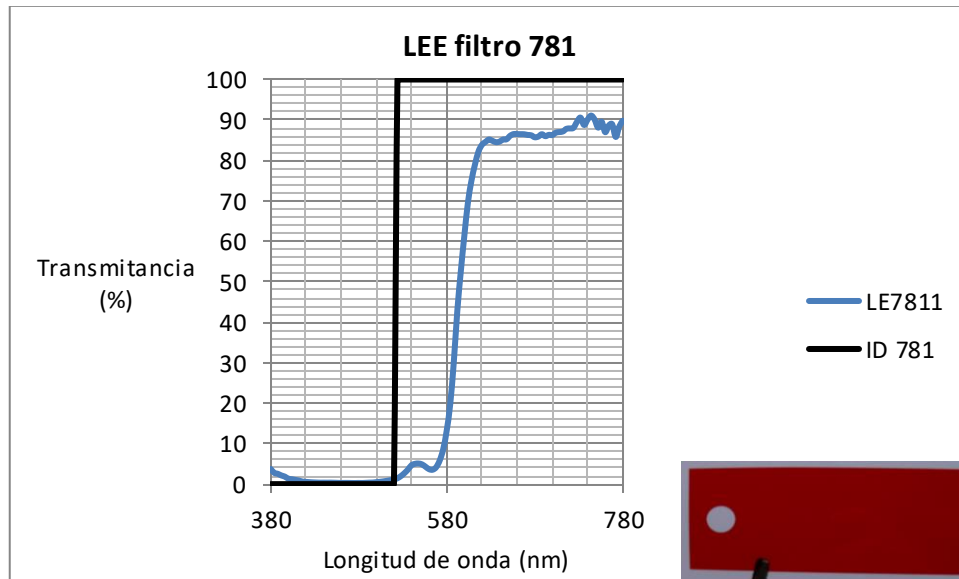


Figura A 87. Representación gráfica comparativa del filtro LEE 781 con longitud de onda de corte 524nm con el filtro ideal. En el ángulo inferior derecho imagen de la muestra utilizada.

